Trabajo Fin de Grado

La utilización de energías renovables en los puestos de mando móviles como fuentes alternativas de suministro

Autor

D. Joaquín Abad Gómez

Director/es

Director académico: Dr. David Izquierdo Núñez

Director militar: Cte. D. Pedro Gómez-Calcerrada Gómez-Calcerrada

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

2019

Agradecimientos

Agradecer en primer lugar a mi tutor académico el Dr. David Izquierdo Núñez por toda su dedicación y tiempo empleado en este trabajo. Seguidamente a todo el personal del Batallón de Zapadores XII por su acogida, trato y apoyo a mi formación durante el periodo de prácticas externas de este curso. En especial al Teniente Fernando Cubas Jiménez por su siempre plena disposición en ayudar en todo aquello que fuera posible desde la llegada a la unidad, al Teniente Manuel López López porque la mayoría de lo aprendido durante las prácticas fue en su compañía y al Teniente Fernando Pérez Paños por sus lecciones y consejos sobre la vida y el Ejército.

Agradecer a mis compañeros Juan Pablo Tierno Moreno, Javier Morales Alonso y Rodrigo Ivorra Briso por ayudar en aquello en lo que pudieron.

No olvidar a mi familia por haber contribuido a forjar mi carácter siendo esto posible, y por último mi agradecimiento a Lucía Diéguez Aguirre por ser una constante fuente de motivación.

RESUMEN

Hay múltiples motivos por los que es conveniente la reducción del uso de los grupos electrógenos que son los medios habituales mediante los que se suplen las necesidades eléctricas de los equipos militares cuando no hay red eléctrica local.

El proyecto que a continuación se desarrolla tiene como objetivo dar completa autonomía a los Puesto de Mando Móviles mediante el empleo de energías renovables. Actualmente existe el denominado PCBON, que es un vehículo especialmente diseñado para su uso como Puesto de Mando. De manera que el proyecto se centra en la alimentación eléctrica de los equipos del vehículo en plataforma VAMTAC, análogo al resto de modelos.

Los Puestos de Mando por las funciones de mando y control que tienen que realizar están abarrotados de sistemas de información y telecomunicaciones. Entre estos equipos, la iluminación y la climatización, el PCBON acaba demandando gran cantidad de energía eléctrica. Lo primero es realizar un estudio detallado del consumo de los equipos durante un día medio en el Puesto de Mando, dato principal para saber que energía se debe generar.

Se estudian varias fuentes de energías renovables y por las particularidades militares y del proyecto se decide utilizar la energía solar fotovoltaica. La generación mediante esta energía varía totalmente según la ubicación geográfica de la instalación. Para utilizar cifras concretas el dimensionamiento del proyecto se ha realizado para la base “Gran Capitán” en Besmayah, Irak.

Una vez determinados los consumos y la ubicación se puede realizar un estudio para dimensionar una instalación fotovoltaica. Se han dimensionado todos los elementos de la instalación fotovoltaica, planteando una solución con modelos específicos del mercado.

Todos los elementos de la instalación deben poder transportarse y desplegarse cumpliendo con los requisitos del PCBON. Para ello se propone un diseño inicial de una estructura que va montada sobre un camión IVECO 7226 del Ejército.

El trabajo concluye con un breve análisis económico con todos los elementos necesarios para llevar a cabo lo propuesto en el proyecto.

ABSTRACT

There are multiple reasons why reducing the use of generators sets is convenient, which are the usual means by which the electrical needs of military equipment are supplied when there is no local power network.

The aim of the following project is to give the Mobile Command Post full autonomy through the use of renewable energy. There is currently the so-called PCBON, a vehicle designed especially for use as a Command Post. The project focuses on the vehicle's electrical power supply on the VAMTAC platform, analogous to the other models.

Command Posts are overcrowded with information systems and telecommunications due to the command and control functions they have to perform. Among these types of equipment, the lighting, and air conditioning, the PCBON ends up demanding large amounts of electrical energy. The first thing is to conduct a detailed study of the equipment consumption at the Command Post during an average day, a key aspect in knowing which energy should be generated.

Several renewable energy sources were studied and, due to the military and project characteristics, it is decided to use photovoltaic solar energy. Power generation using this energy varies entirely depending on the geographical location of the facility. Using specific figures, the dimensioning of the project has been made for the "Gran Capitán" base in Besmayah, Iraq.

Once the consumption and the location are determined, a study can be conducted to size a photovoltaic installation. All photovoltaic installation elements have been dimensioned, proposing a solution with specific models on the market.

All installation elements must be capable of being transported and deployed in accordance with the PCBON requirements. For this purpose, an initial design of a structure that is mounted on an IVECO 7226 army truck is proposed.

The paper concludes with a brief economic analysis containing all the necessary elements to accomplish what is proposed in the project.

CONTENIDO

LISTADO DE FIGURAS

LISTADO DE TABLAS

LISTADO DE ABREVIATURAS

AC	Corriente alterna
BCG	Batallón de Cuartel General
BZ	Batallón de Zapadores
CDE	Cuadro de Distribución de Energía
CDEC	Cuadro de Energía y Control
CG	Cuartel General
CIS	Sistemas de Información y Telecomunicaciones
CT	Centro de Transmisiones
DC	Corriente continua
ET	Ejército de Tierra
FAS	Fuerzas Armadas
GJ	General jefe.
GT	Grupo Táctico
HF	High Frecuency

LAN	Local de Área Local
MALE	Mando de Apoyo Logístico del Ejército
PC	Puesto de Mando
PCALT	Puesto de Mando Altenativo
PCAV	Puesto de Mando Avanzado
PCBON	Puesto de Mando de Batallón
PCEI	Puesto de Mando de Entrada Inicial
PCMMI	Parque y Centro de Mantenimiento de Material de Ingenieros
PCMOV	Puesto de Mando Móvil
PCR	Puesto de Mando Retrasado
PCPRAL	Puesto de Mando Principal
PCTAC	Puesto de Mando Táctico
PEXT	Prácticas Externas
PLMM	Plana Mayor de Mando
S/GT	Subgrupo Táctico
SAI	Sistema de Alimentación Ininterrumpida
SITREP	Parte de Situación
TOA	Transporte Oruga Acorazado
VAMTAC	Vehículo de Alta Movilidad Táctica
VERDE	Vehículo Energético Rápido Despliegue Ecológico
VHF	Very High Frecuency
ZO	Zona de Operaciones

1.INTRODUCCIÓN

Los Puestos de Mando (PC) son lugares primordiales en los despliegues militares. En ellos se realiza la función de mando y control de las fuerzas y medios en operaciones militares. Es la fuente de decisión y dirección que rige el resto de las funciones de combate. Los PC reúnen a personal altamente cualificado y sofisticados medios CIS (Sistemas de Información y Telecomunicaciones) para desarrollar correctamente sus cometidos. La superioridad en el mando y control es decisiva en las operaciones y deben ser permanentes y continuos. Por ello se utiliza el Puesto de Mando Móvil (PCMOV), constituidos básicamente por el vehículo PCBON (Puesto de Mando de Batallón).

Debido a las características y especificidades de los equipos militares, éstos tienen altísimas demandas energéticas que deben suplirse, siendo inconcebible el corte eléctrico que dejaría inoperativo al PC. Esta demanda energética actualmente la satisfacen grupos electrógenos que se alimentan con combustibles fósiles.

La dependencia de los combustibles fósiles es una vulnerabilidad para nuestras Fuerzas Armadas (FAS). Un cambio de precios o demanda del petróleo supone una amenaza para la seguridad. En Zona de Operaciones (ZO) donde hay mayor riesgo que en territorio nacional, no hay lugar para una falta de energía eléctrica para alimentar los equipos de las FAS.

Una solución prometedora a este problema son el empleo de generadores de energía renovable. Estos generadores obtienen la energía de recursos inagotables de la naturaleza. Si se pudiese aplicar esto al ámbito militar le daría completa autonomía a los equipos de las FAS. Estados Unidos, cuyo ejército consume más de 100 millones de barriles de petróleo al año [1], ya se ha puesto a ello. Para el 2025 se ha propuesto producir o comprar el 25% del uso total de energía de sus instalaciones y dependencias del Ejército de Tierra (ET) a partir de energías renovables [2].

1.1. Motivación

El Ministerio de Defensa establece por medio de la Instrucción 56/2011 y de la Directiva nº 107/97 que tiene la voluntad de disminuir el impacto ambiental de la generación eléctrica siendo compatible con las misiones de las FAS. Por lo que hay que buscar medios alternativos de generación eléctrica como el empleo de energías renovables.

Actualmente, la producción de energía en el ámbito militar cuando no existe red eléctrica local está basada en el uso de grupos electrógenos que se alimentan con combustible diésel. Esta

dependencia de combustibles fósiles es una gran vulnerabilidad con una serie de riesgos e inconvenientes:

- Las reservas de petróleo se agotan, además, según el Departamento de Energía de Estados Unidos el consumo de petróleo en 25 años va a aumentar aproximadamente un 50% [3] en consecuencia, el precio del barril de petróleo va a seguir aumentando.
- Las mayores reservas de hidrocarburos del planeta están ubicadas en zonas muy conflictivas y con gran inestabilidad. De manera que un corte en el suministro repercutiría enormemente en los medios de las FAS [4].

Un ejemplo de esta dependencia es algunas misiones como Bosnia-Herzegovina o Kosovo en las que el uso de la red eléctrica local no siempre fue seguro de modo que el sistema de energía tenía que basarse en grupos electrógenos auxiliares [3].

Por último, una reducción del uso de combustibles fósiles reduce la huella logística, conveniente en zona de operaciones donde no siempre es sencillo el acceso al combustible.

1.2. Objetivo y Alcance

El origen de este trabajo es una propuesta de la Brigada “Guadarrama” XII, donde se creó el TOA VERDE. Este vehículo es un TOA M548 de carga que ha sido dotado de implementos para proveer de energía sostenible al PC. En dicho proyecto el Batallón de Zapadores (BZ) XII no estuvo implicado, pero sí propuso este trabajo.

El objetivo de este trabajo es dar autonomía a los equipos del vehículo PCBON en plataforma de VAMTAC (Vehículo de Alta Movilidad Táctica) mediante energías renovables para que sea completamente autónomo.

Como objetivos secundarios se pretende:

- Estudiar las fuentes de generación de energías renovables actuales que se pueden utilizar en el ámbito militar.
- Contextualizar el empleo doctrinal de los PC del ET. Centrándose en el PCMOV que tiene gran trascendencia en los cambios de asentamiento de los PC.
- Examinar el vehículo PCBON en plataforma VAMTAC. Analizando en profundidad la distribución de sus equipos, así como su sistema de alimentación.
- Realizar un cálculo teórico del consumo de los equipos del PCBON.

- A partir del consumo del PCBON se dimensionan todos los elementos de una instalación fotovoltaica para alimentar al PCBON. Se da una solución para cada elemento de la instalación que se puede adquirir en el mercado. Dicho dimensionamiento se hace para la base del ET "Gran Capitán" en Besmayah (Irak) para el mes de diciembre.
- Proponer el diseño de una estructura para la instalación que permita el transporte y despliegue en la caja del camión IVECO 7226 rápido y fácilmente conectable.

1.3. Metodología

Durante el transcurso de las prácticas externas (PEXT) en el BZ XII, se ha recopilado toda la información necesaria para determinar la demanda energética que debe suplirse, para ello se realizaron las siguientes tareas:

- Análisis de los equipos del PCBON, así como funcionamiento de éste y posterior búsqueda de documentos oficiales para determinar sus consumos.
- Entrevista al jefe del Pelotón de Transmisiones del BZ XII para concretar un número de horas de uso de cada elemento del PCBON durante un día ordinario.

Se evaluó el uso de placas solares fotovoltaicas en distintas ubicaciones donde hay desplegado personal del ET con fuentes de datos de internet.

Para el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica se calcularon los requisitos de cada elemento del sistema y se hizo un estudio con catálogos de empresas para elegir los distintos componentes.

Se realizó una propuesta de diseño para el despliegue del sistema. Se utilizó la herramienta CYPE para el diseño y cálculo de los perfiles metálicos de la estructura. Posteriormente se utilizó la herramienta de diseño AutoCAD para la elaboración de los planos del diseño propuesto.

Por último, se hizo un conciso análisis de costes con todos los elementos necesarios para llevar a cabo el sistema propuesto en el proyecto.

2.ESTADO DE LA CUESTIÓN

Se puede asegurar con firmeza que en lo referente a las energías renovables en el Ministerio de Defensa lo más actual y puntero es el TOA VERDE (Transporte Oruga Acorzado, Vehículo Energético Rápido Despliegue Ecológico). Se trata de un puesto de mando sostenible, proyecto común entre la Brigada "Guadarrama" XII, el Mando de Apoyo Logístico del Ejército (MALE) y el Parque y Centro de Mantenimiento de Material de Ingenieros (PCMMI). El primer prototipo lo presentó el Batallón de Cuartel General (BCG) de la BRI XII montado sobre la plataforma de un TOA M548 (TOA de carga). Este sistema original producía energía en base a nueve módulos fotovoltaicos de 220 W, colocados de manera horizontal y un grupo electrógeno monofásico. El sistema de almacenamiento eran cuatro baterías de 220 Ah de 12 V. Al sistema original se le implementaron varias mejoras, entre las que destacaban: incorporación de dos aerogeneradores de eje horizontal, sustitución del grupo electrógeno trifásico por uno monofásico, adición de otras cuatro baterías más y se añadió la capacidad de inclinación de las placas (lo que aumenta altamente el rendimiento). La Figura 1 muestra una fotografía de la nueva versión. Actualmente el sistema puede proporcionar sin el grupo electrógeno encendido una potencia máxima de 6.000 W (limitado a 4.500 W para mantener ciertos márgenes) y la capacidad máxima de las baterías es de 21 kWh [3].

Figura 1: TOA VERDE
Fuente: Defensa, 2017 [4].

El ejército de Estados Unidos como gran consumidor de combustibles fósiles y concienciado con el riesgo que supone la dependencia del petróleo va tomando medidas de uso de fuentes de generación energética renovables. El ejército estadounidense utiliza generadores móviles solares como el de la Figura 2 que puede recargar baterías de equipos de transmisiones, linternas, designadores láser, equipos de visión nocturna, etc. Con su tecnología de finas láminas son plegables, lo que ofrecen numerosas posibilidades [4].

Figura 2: Generador solar portátil
Fuente: land.marines, 2016 [6].

En la actualidad el U.S. Army Soldier Systems Center (Natick) provee de tiendas de campaña con paneles solares flexibles. El TEMPER Fly como muestra la Figura 3 es una estructura de carpa de aproximadamente 16 x 20 pies (4,9 x 6,1 metros) capaz de generar 800 vatios de electricidad. Esta potencia se estima suficiente para la iluminación y recarga de baterías [5].

Figura 3: TEMPER Fly
Fuente: Army.mil, 2010 [8].

Hay otros proyectos innovadores en el ámbito civil de las energías renovables que se están desarrollando en la actualidad, entre ellos destacan por su peculiaridad:

El "Zéphyr Photovoltaic Balloon" plantea el uso de globos aerostáticos autónomos que aprovechan la energía solar y la almacenan en baterías de forma silenciosa y sin emisión de gases contaminantes. Está pensado para suministrar electricidad en zonas afectadas por catástrofes, y es capaz de suministrar electricidad a un hospital de campaña compuesto por unas quince tiendas, alrededor de cincuenta personas, así como hacer funcionar las telecomunicaciones [6].

"Rawlemon" es una lente esférica llena de agua capaz de aumentar en un 70% la eficiencia de los paneles solares tradicionales. Esta lente como la de la Figura 4 intensifica los rayos solares en más de 10.000 veces, siendo capaz de obtener energía incluso a partir de la luz de la luna [8].

Figura 4: Rawlemon
Fuente: Wired.co.uk, 2014 [13].

"Makani" es el proyecto de Google que apuesta por turbinas eólicas que vuelan como una cometa. Las principales ventajas respecto a los aerogeneradores actuales son que se pueden instalar en muchos más lugares debido a que pueden alcanzar alturas de hasta 350 metros donde la velocidad del viento es mayor, generando un 50% más de energía. Y que están diseñadas con materiales avanzados que eliminan el 90% de los materiales utilizados en las turbinas que, de media, requieren 100 toneladas de materiales [9]. La Figura 5 muestra esta innovadora invención.

Figura 5: Makani
Fuente: Outsideonline, 2014 [15].

3.PUESTOS DE MANDO

El PC es donde se desarrolla la función mando y control, que constituye el conjunto de actividades mediante las cuales se planea, dirige, coordina y controla el empleo de las fuerzas y los medios en operaciones militares. En general, y en el caso más completo en un PC se distinguen: el área de mando, el área de vida, el área de explotación de las telecomunicaciones y una zona de aterrizaje de helicópteros. Los condicionantes básicos para un correcto diseño de un PC es: flexibilidad, modularidad, volumen, integración, efectividad y continuidad [10].

3.1. Tipos

Los Cuarteles Generales (CG) y Planas Mayores de Mando (PLMM) se organizan en varios PC para disponer de una información oportuna, exacta y completa. El responsable de la localización, organización y articulación de los PC es el jefe de la Unidad, que podrá delegar la organización en función de los requerimientos de la misión y la situación táctica. Las grandes unidades pueden desplegar en todos o algunos de los siguientes PC.

En el Puesto de Mando Avanzado (PCAV) se conduce el conjunto de las operaciones próximas y en profundidad. En el Puesto de Mando Retrasado (PCR) se tratan las actividades logísticas y la conducción de las operaciones en retaguardia. Se denomina Puesto de Mando Principal (PCPRAL) cuando se decide que se unan el PCAV y el PCR en un mismo PC. El Puesto de Mando Alternativo (PCALT) se creará o se designará con el fin de que no se queden sin cumplir las funciones de un PC determinado y tendrá que asumir las funciones más importantes del que sustituya. El PCMOV asegura la continuidad del ejercicio del mando durante los desplazamientos del jefe de la Unidad. Más tarde se aborda con mayor profundidad los cambios de asentamiento de los PC donde es fundamental el uso del PCMOV. El Puesto de Mando de Entrada Inicial (PCEI) es un PC muy específico cuya función principal es conducir las operaciones próximas en operaciones de entrada inicial. Por último, se encuentra el Puesto de Mando Táctico (PCTAC) que surgió porque era conveniente que, en el escalón de División y superiores, con carácter temporal y eventualmente, el Mando de la Unidad se mantuviera un tiempo prolongado a la misma altura que los PC del escalón inferior [10].

3.2. Despliegue

El despliegue de los distintos PC depende de varios factores: la situación relativa respecto a las unidades propias, la previsible evolución del combate, la proximidad a vías de comunicación que faciliten el acceso, la seguridad de que los mismos PC constituyen uno de los objetivos prioritarios por el enemigo y que haya la posibilidad de que el Mando obtenga información directa sobre el desarrollo de la maniobra [11].

3.3. Conducción de las Unidades de Maniobra

La maniobra planeada por el jefe de Unidad durante la fase de planeamiento se compone de una serie de acciones a realizar por las Unidades subordinadas. El jefe conduce a las Unidades de maniobra subordinadas a lo largo de la fase de Ejecución por medio de órdenes sucesivas. Esta transmisión de órdenes se inicia en el escalón responsable de la maniobra y desciende hasta el escalón del Subgrupo Táctico (S/GT). En cambio, la transmisión del Parte de Situación (SITREP) se inicia en el escalón del Grupo Táctico (GT) y asciende hasta el escalón responsable de la maniobra. Este procedimiento varía mucho dependiendo de la fase más o menos estática de la maniobra. La transmisión de las órdenes sucesivas y la recepción de los SITREP son necesarios en cada PC para ejecutar la maniobra y deben hacerse con los medios de transmisión disponibles [11].

Durante los traslados de los PC la transmisión de la información se dificulta debido a que se están desarticulando los PC para cambiar de un asentamiento a otro y los medios están limitados. Durante los traslados la mayor parte del mando y control la llevará a cabo el PCMOV donde se encuentra el jefe de la Unidad. El cuál tiene menor capacidad de transmisiones que el resto de PC, debido a que su prioridad es la movilidad táctica. Además, esta comunicación con los representantes de las Unidades está dificultada por la separación física y el movimiento del PCMOV.

3.4. Traslado de los Puestos de Mando

La necesidad de que no se interrumpa el ejercicio del mando, así como el volumen y la complejidad de los PC hacen del traslado una operación delicada que exige una apropiada preparación. Aquí se observa la importancia del PCMOV que asegura la continuidad del ejercicio del Mando durante la maniobra sin interrupción alguna.

En el escalón de División, lo primero que se instala el Centro de Transmisiones (CT) del PCALT (previamente reconocida la zona por el jefe de la Compañía de CG. y el jefe del CT). El desplazamiento del General Jefe (GJ) y sus colaboradores se desarrolla en dos tiempos: Primero se

traslada al PCALT en su PCMOV, activándose allí el nuevo PCAV. En el segundo tiempo lo hacen el resto de los colaboradores que no lo hicieron en el primer tiempo. Se cierran las estaciones del CT y se revisa lo abandonado en el anterior PC. El PCTAC se activa cuando el GJ se desplaza a él en su PCMOV con sus colaboradores necesarios en caso de ser destruido el PCAV. Cuando se mueve a vanguardia el PCTAC, se adelanta el PCMOV y después se incorpora el resto del PC. Si el movimiento es a retaguardia, permanece inmóvil el PCMOV mientras se retrasa el PCTAC y más tarde se incorpora el PCMOV. El PCR se traslada en un solo escalón sin dificultades.

En el escalón de Brigada los traslados se realizan de forma semejante al escalón de división a excepción del PCTAC. que es exclusivo del escalón de división.

En el escalón de Batallón cuando se requiera trasladar el PCAV a vanguardia, el Teniente Coronel se adelanta en el PCMOV y posteriormente se incorpora el resto del PC. Cuando el traslado sea a retaguardia, permanece inmóvil el PCMOV, se retrasa el resto del PC y posteriormente se incorpora el PCMOV de forma que no se interrumpe la conducción de la maniobra [11].

4.ESTUDIO DE LAS FUENTES DE GENERACIÓN RENOVABLES CON APLICACIÓN MILITAR

La gran ventaja de la generación eléctrica con energías renovables es la autonomía energética que proporciona ya que utilizan fuentes de energía inagotables. Además, se reduce la cadena logística que, en la mayoría de las ocasiones, el acceso a los suministros básicos como lo es el combustible es muy arduo. También son ventajas la modularidad, flexibilidad y capacidad de adaptación de los recursos existentes en cada zona en la que se despliegue. Aunque no todas las energías renovables se adaptan a los requisitos de las misiones militares, las más viables para sustituir a los grupos electrógenos son la energía eólica y la energía solar [12].

4.1. Energía eólica

La energía eólica es la energía renovable más utilizada en el mundo y es considerada como la más limpia y sostenible. La energía eléctrica de origen eólico ha tenido en los últimos años un desarrollo espectacular, siendo cada vez más barata e incluso superando en algunas regiones a otras fuentes de energía convencionales. Esta energía eólica es la que se obtiene directamente de la fuerza del viento, esta masa de aire en movimiento es energía cinética que puede ser transformada en energía eléctrica.

Figura 6: Parque eólico
Fuente: Evwind, 2015.

Esta energía eólica se explota a través de los aerogeneradores, como los de la Figura 6 , compuestos por una turbina eléctrica y un generador eléctrico. Para poder aprovechar la energía del viento, éste debe tener una velocidad mínima de 12 km/h y que no supere los 65 km/h. La

energía almacenada en el viento antes de pasar por la turbina depende de tres parámetros: la velocidad del viento, la densidad del aire y el área barrida por el rotor. Actualmente los aerogeneradores aprovechan cerca del 40% de la energía contenida en el viento [13].

Energía eólica en aplicación militar

Se podría considerar el uso de aerogeneradores para la producción de energía eléctrica en el ámbito militar ya que hay aerogeneradores de innumerables tamaños y características. Aunque hoy en día la mayoría de los aerogeneradores son de gran tamaño, también existen "mini aerogeneradores" que podrían utilizarse en ambiente militar, pero deben darse una serie de condiciones muy particulares ya que hay varios factores para tener en cuenta:

- El rendimiento de estos aerogeneradores aumenta considerablemente con la altura, esto es una clara desventaja porque supone un punto de referencia claro para que el enemigo pueda determinar la ubicación de unidades militares. En zona de operaciones se trata de ser discreto intentando llamar la atención lo menos posible.
- Situar una turbina en altura plantea un problema a la hora del uso de helicópteros. Los aerogeneradores deben estar ubicados en lugares donde no perjudiquen la aproximación y aterrizaje de los helicópteros.
- El mayor problema de la energía eólica es la eventualidad de su generación. No se puede producir de forma constante y es muy difícil de predecir de forma precisa el viento que soplará en cada zona [13]. Es cierto que pueden operar de noche, lo que es una clara ventaja respecto a la energía solar, pero funcionan a unas determinadas velocidades de viento que no se dan siempre.
- La baja densidad energética de la energía eólica por unidad de superficie obliga al uso de un mayor número de aerogeneradores. Varios generadores dificultan el transporte por las dimensiones de la torre y deben desmontarse las palas que unidas al rotor son poco manejables y ocupan gran volumen. También un mayor número de aerogeneradores dificulta su despliegue por la necesidad de estar bien fijados al suelo o con vientos tensores para no ceder ante la fuerza del viento.
- Los aerogeneradores, aunque sean pequeños requieren de instaladores profesionales y maquinaria para ponerlos en pie, cosa que no puede hacer cualquier operario. Además, por su peso no pueden ser instalados en cualquier superficie.

- Los aerogeneradores requieren de un gran mantenimiento debido a la gran cantidad de partes móviles que contienen. Este mantenimiento es costoso y debe hacerse por personal experto [14].

4.2. Energía solar

La energía solar es la energía que contiene la radiación solar que proviene del Sol. Es una energía abundante e inagotable, fuente de energía renovable, limpia y que es una alternativa para la energía nuclear o la energía fósil. La energía solar se puede transformar en energía térmica y energía eléctrica para el posterior consumo. Hay tres formas de explotar la energía solar:

- La energía solar pasiva consiste en el aprovechamiento de la radiación solar sin ningún elemento externo. Es un recurso de ahorro energético y sostenibilidad ambiental, que, aprovechando el diseño, ubicación y orientación correcta de los edificios, utilizando correctamente las propiedades de los materiales, aplicando criterios de arquitectura bioclimática [15], etc.
- La energía solar térmica está basada en aprovechar la radiación solar para calentar agua mediante captadores solares térmicos. Hay dos aplicaciones principales para esta energía solar térmica. La primera consiste en obtener agua caliente sanitaria o para la calefacción de viviendas. La segunda aplicación consiste en concentrar el calor de la energía solar en un punto para generar vapor que posteriormente se hace pasar por una turbina generando energía eléctrica [16].
- La energía solar fotovoltaica consiste en transformar directamente la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. Cuando incide la radiación solar sobre el material semiconductor de una célula fotovoltaica se produce una diferencia de potencial eléctrico generando una corriente eléctrica [17]. En la Figura 7 se observa una planta fotovoltaica común.
- Los módulos fotovoltaicos producen electricidad a partir de un rango concreto de longitudes de onda de luz por lo que no se aprovecha toda la energía solar posible. Científicos de Spectrolab [24] han desarrollado células solares con una eficiencia de más de 40%, la mayor hasta ahora. Predicen que en el futuro se llegarán a eficiencias de incluso el 50% pero actualmente la eficiencia del módulo solar en el mercado ronda el 21,5%.

Figura 7: Planta fotovoltaica
Fuente: Lahuertadigital, 2018.

Energía solar en aplicación militar

La gran ventaja de la energía solar es su versatilidad. Los captadores solares (energía solar térmica) y los módulos fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica) pueden ubicarse en lugares muy variados siendo de distintos tamaños y pudiéndose adaptar al terreno o superficie. Las instalaciones tienen un reducido coste de instalación y mantenimiento comparado con otras energías, teniendo una vida útil garantizada los paneles solares de 20 a 25 años. Además, es favorable para sitios aislados sin acceso a la red eléctrica, situación muy común en territorio hostil. A pesar de todo ello la energía solar tiene una serie de desventajas a tener en cuenta:

- La mayor limitación es que la generación de energía eléctrica solo puede darse durante las horas diurnas. El uso de la energía eléctrica no siempre coincide con las horas de sol de manera que hay que almacenar la energía en acumuladores, como depósitos de agua caliente o baterías solares.
- Sobre la generación influye mucho la zona geográfica de la instalación y la época del año en que se utilice. La Tierra está inclinada respecto a su eje lo que implica que el sol irradia más unos lugares que otros a lo largo del año. Los lugares con mayor luz horaria son alrededor del Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio. Y los de menor luz solar son donde las latitudes son más altas (superiores a 50° norte y sur). Por ello hay lugares en los que no tiene sentido el uso de esta fuente de energía por las condiciones geográficas y climatológicas como es el caso de Letonia, pero en Oriente Medio o África donde hay desplegado contingente español sí es factible. En la Figura 8 se representan los lugares con mayor número de horas solares a lo largo del año en rojo y los de menor horas en azul.

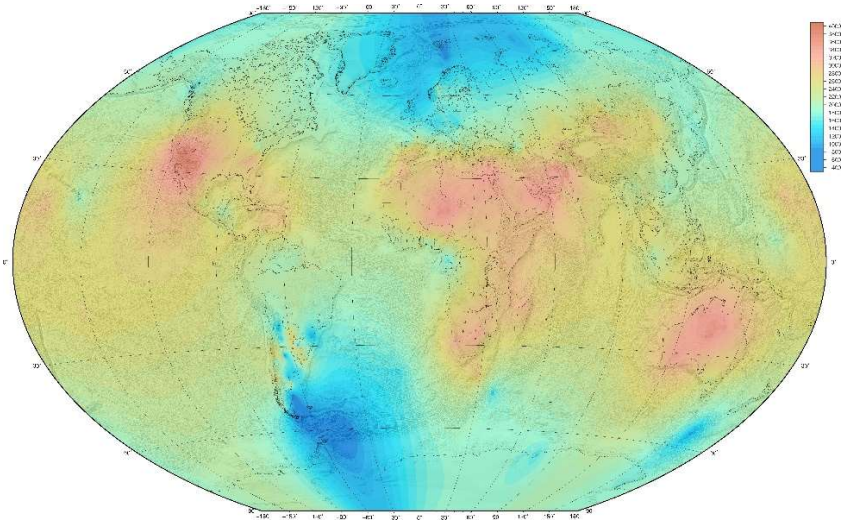


Figura 8: Horas de sol al año
Fuente: Geografíainfinita, 2017 [25].

- Baja eficiencia de producción de energía eléctrica de los paneles solares en relación con la energía solar que reciben comparada con otras fuentes de energía.
- Los paneles solares tienen una gran firma térmica, que si el enemigo tiene los dispositivos tecnológicos adecuados supone que pueda determinar fácilmente la ubicación de estos. Esto delataría la localización de la unidad militar.

4.3. Elección de la energía renovable

Se deben cumplir un mínimo de requisitos para mantener la seguridad y operatividad del PCMOV, por ello en la Tabla 1 se resumen las ventajas e inconvenientes que afectan a la decisión desde el punto de vista militar para su aplicación en ZO.

	Ventajas	Desventajas
Energía eólica	Producción eléctrica día y noche.	Fácil punto de referencia. Dificulta empleo de helitransporte. Eventualidad de generación eléctrica. Dificultad de despliegue, instalación y manejabilidad. Gran mantenimiento.
Energía solar	Fácil instalación. Diversidad de lugares para su instalación. Bajo mantenimiento.	Elevada firma térmica. Baja eficiencia de los paneles. Producción de energía durante el día.

Tabla 1: Resumen ventajas y desventajas energía eólica y solar
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por estos motivos se ha elegido para la alimentación del PCMOV el uso de energía solar, más concretamente la energía solar fotovoltaica ya que requiere de una instalación más discreta. Hay

que tener en cuenta el lugar donde se va a utilizar la instalación, ya que su uso en África en invierno requiere de la mitad de los módulos que, en Oriente Medio, por ejemplo. Debido a la baja eficiencia de los módulos se requiere un gran número de ellos para suplir por completo la demanda energética. Si aumenta el número de módulos aumenta la superficie de la instalación asique hay que ser riguroso y si son excesivos módulos utilizar el grupo electrógeno. En cualquier caso, estos módulos disminuyen enormemente la necesidad del combustible. Por último, respecto a la firma térmica no hay ninguna solución, se asume el riesgo de que el enemigo cuente con los sensores térmicos necesarios para la localización de los módulos. Esto ocurrirá cuando el enemigo esté bien dotado en material, en cualquier caso, será una opción más segura que colocar enormes aerogeneradores en altura.

5.DESCRIPCIÓN PUESTO DE MANDO SOBRE VAMTAC

En este apartado del proyecto se va a proceder a describir la distribución y equipos del puesto de mando sobre VAMTAC URO ST5, para comprender el funcionamiento y capacidades de la estación ya que los PCMOV en la actualidad se basan en este vehículo, Figura 9, al que denominan PCBON (a pesar de que puede constituir parte de otros PC de mayor entidad). Actualmente hay cuatro plataformas vehiculares del PCBON: sobre VAMTAC, sobre BMR, sobre Pizarro y sobre TOA. En el futuro habrá un puesto de mando sobre el vehículo 8x8 "Piranha" que sustituirá al BMR.

Figura 9: PCBON sobre VAMTAC ST5
Fuente: Curso PCBON, 2017 [26].

El PCBON permite ejercer el mando y control proporcionando enlace a las unidades superiores, colaterales y subordinadas. El PCBON tiene dos modalidades de empleo: de transporte (en movimiento) o modo operativo (en estático). En la primera la energía es proporcionada por las baterías y el alternador del vehículo, mientras que en el modo operativo la alimentación es externa, a través de un grupo electrógeno o desde la red eléctrica comercial [18].

5.1. Subespacios del vehículo

El PCBON está dividido en las zonas que muestra la Figura 10:

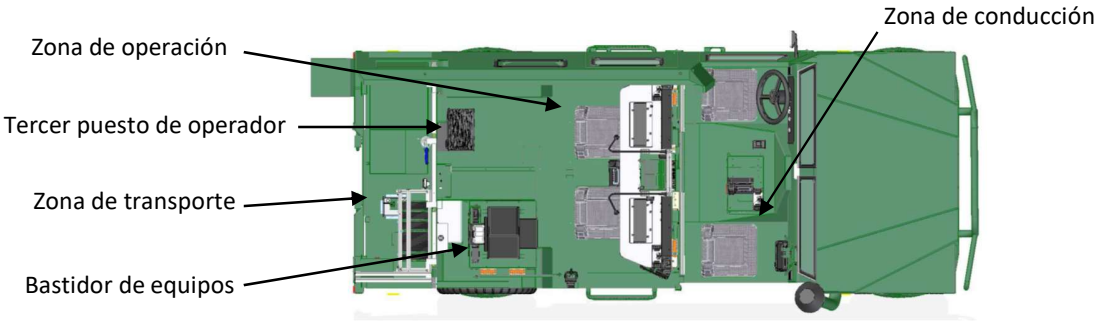


Figura 10: Subespacios PCBON
Fuente: Curso PCBON, 2017 [26].

Zona de conducción

Es el espacio reservado para el conductor del vehículo y el copiloto. Frente al copiloto se encuentra un soporte para la Tablet-PC como muestra la Figura 11 y una unidad AUS[1] en su lateral. Por lo tanto, desde este puesto se pueden control todos los equipos de comunicaciones de la estación, siendo especialmente útil cuando la estación está en movimiento.

Figura 11: Tablet-PC
Fuente: Amper Programas, 2013 [27].

Zona de operación

Es el habitáculo posterior a la zona de conducción. Hay un bastidor radio con dos puestos de operación. Estos puestos pueden controlar las comunicaciones de los equipos radio tácticos tanto desde sus frontales como desde los AUS. En la Figura 12 se representa el habitáculo con sus equipos:

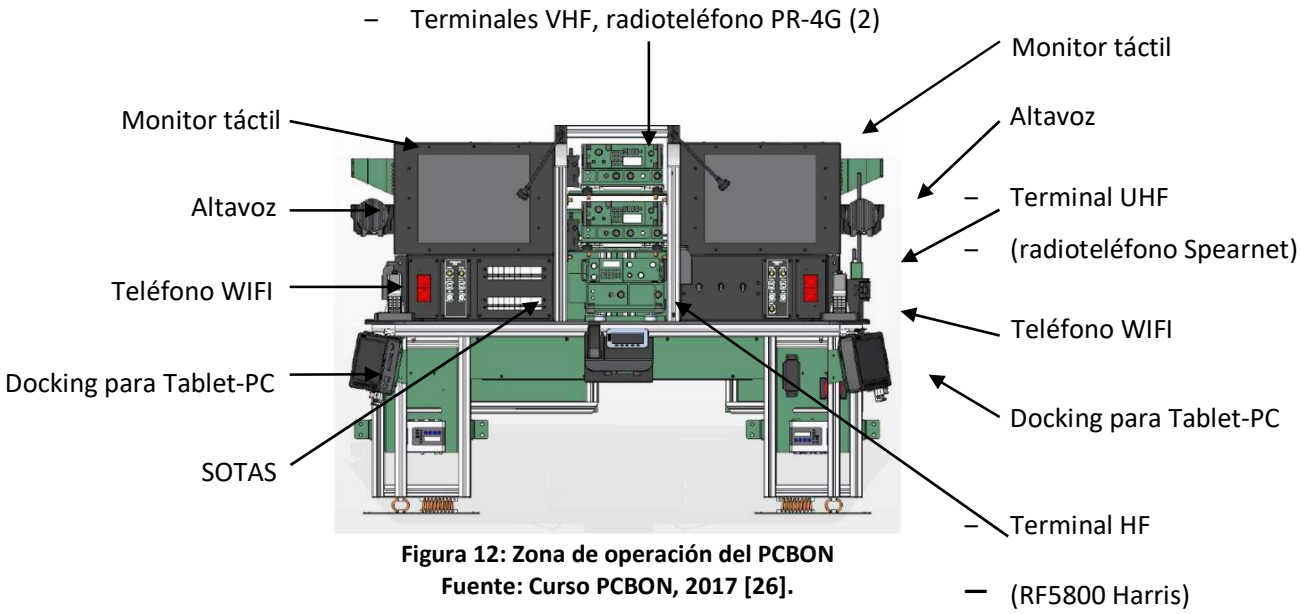


Figura 12: Zona de operación del PCBON
Fuente: Curso PCBON, 2017 [26].

[1] Estación de Usuario Avanzado desde donde se opera el integrador de comunicaciones [34].

En la parte posterior derecha del habitáculo se encuentra un bastidor de equipos que aloja: dos Tablet-PC, Switch[2], punto de acceso WiFi, dos pasarelas de voz, una impresora multifunción y una parte de alimentación eléctrica que se detallará más adelante con el SAI (Sistema de Alimentación Ininterrumpida), CDEC (Cuadro de Energía y Control) y CDE (Cuadro de Distribución de Energía).

En la parte posterior izquierda del habitáculo se encuentra un tercer puesto de operador. Dispone de una mesa abatible para permitir su entrada y salida, así como de tomas de corriente de 220 Vac (tensión alterna), de 28 Vdc (tensión continua) y conexión LAN[3] (Red de Área Local).

Zona de transporte

La cabina posterior del vehículo se subdivide en dos zonas mediante una mampara termo-acústicamente aislada. Esta mampara aísla la zona de carga o transporte como muestra la Figura 13 con la de operación y la de conducción. En ella se alojan los siguientes medios de despliegue necesarios: dos carretes de antena VHF (Very High Frequency), un carrete de antena HF (High Frecuency), carretes de alimentación, carrete de fibra óptica (500 m), grupo electrógeno, trípode con luz halógena, y cabestrante eléctrico.

Figura 13: Zona de transporte
Fuente: Amper Programas, 2013 [27].

La estación dispone de una tienda avance de lona como la de la Figura 14 que le permite integrarse, combinarse o asociarse con otro vehículo PCBON. Las dimensiones aproximadas de la lona son: 2,3 x 2,2 x 2,3 m. Está compuesta por: estructura, telón, sobre techo y doble suelo. La tienda se fija al suelo mediante piquetas y vientos, siendo su tiempo máximo de montaje por dos

[2] Conmutador: dispositivo de red cuya misión es realizar una interconexión entre distintas redes.

[3] Red de área local que permite conectar ordenadores entre sí de forma física, con cable.

personas de 5 minutos. Y soporta los efectos de climas extremos, vientos de hasta 90 Km/h y nevadas intensas.

Figura 14: Lona de avance
Fuente: Amper Programas, 2013 [27].

Sistema de iluminación. Cuenta con tres plafones de luz blanca con fluorescentes de 18 W @ 220 Vac situados en las cercanías de la posición de los operadores. La iluminación de seguridad consta de dos plafones de color azul situados en los laterales del vehículo. Lleva instalado un sistema de black-out de modo que cuando se llevan encendidas las luces de guerra y se abre la puerta trasera del vehículo, las luces blancas conmutan automáticamente a azules y viceversa al cerrarse la puerta.

5.2. Sistema de alimentación

El sistema de energía de la estación reúne a todos aquellos elementos encargados de controlar y distribuir la energía eléctrica necesaria a todos los equipos instalados dentro y fuera de la estación, así como sus protecciones eléctricas.

El sistema de energía es capaz de proporcionar la alimentación necesaria mediante un grupo electrógeno o a través de las baterías alternador del vehículo en modo normal. Cuando la estación pasa al modo de emergencia el sistema conmuta automáticamente sin necesidad de intervención humana al equipo SAI que se alimenta de las baterías auxiliares.

El sistema de alimentación de la estación vehicular está diseñado para proporcionar tensión directa de 230 Vac @ 50 Hz, desde el grupo electrógeno, cuando se alimenta de forma externa o de las baterías auxiliares a través del inversor. También proporciona tensión de 24 Vdc ya sea de las baterías auxiliares o del conjunto alternador-baterías del vehículo.

El sistema proporciona energía al PCBON en movimiento o en estático. En movimiento la energía se obtiene del conjunto baterías-alternador de la estación o del grupo electrógeno. Cuando la estación está en estático se alimenta de la red comercial exterior, a través del grupo electrógeno

o de las baterías auxiliares. A continuación, se van a desarrollar los diferentes elementos del sistema de energía:

El CDEC centraliza el control del sistema general de energía en la estación. Recibe la energía a 220 Vac del grupo electrógeno, de la red comercial o del conversor DC/AC que proviene de las baterías y el alternador del vehículo y lo distribuye al SAI y posteriormente a la CDE. Dispone de indicadores de voltaje, corriente y frecuencia de alimentación de entrada.

El CDE convierte la corriente alterna de 220 Vac que le llega del CDEC en corriente continua a 24 Vdc para suministrar energía a los elementos de la estación que requieren energía en corriente continua. En la Figura 15 se muestra un bastidor con el CDE, el CDEC y el SAI.

El SAI garantiza el suministro de 230 Vac @ 50Hz a los sistemas considerados vitales que requieren el funcionamiento en todo momento. En el caso del vehículo de PCBON son todos los equipos de la estación a excepción del sistema de climatización y los enchufes auxiliares. Por tanto, si se da el caso de haber un fallo en el sistema de alimentación principal de la estación vehicular, el SAI automáticamente comienza a suministrar energía a la estación. El SAI obtiene la energía de dos baterías auxiliares de la estación (baterías de 12 V, 220 Ah de gel de la marca Victron). La autonomía de la SAI depende de la capacidad de las baterías y la carga que se consume, pero se estima que proporciona un máximo de autonomía de dos horas y veinte minutos.

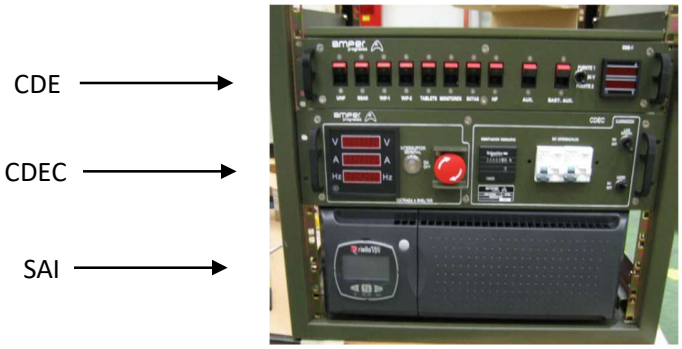


Figura 15: CDE, CDEC y SAI
Fuente: Amper Programas, 2013 [27].

Convertidor DC/AC (inversor): Este sistema transforma la corriente continua de 24 Vcc que proporciona el conjunto alternador-baterías del vehículo o las baterías auxiliares de la estación en corriente alterna a 220 Vac para aquellos equipos que demandan esa tensión. Se trata de un conversor con señal senoidal pura de 3000 W.

Grupo electrógeno. Los datos más relevantes del grupo electrógeno KDE12A de Kipor como el de la Figura 16 son: sus dimensiones 1030 x 600 x 650 mm, sistema de arranque eléctrico,

combustible diésel, potencia nominal 8,5 kVA, peso 200 kg, depósito de 25 litros y un consumo de 3,125 L/h a potencia nominal. El grupo arranca de forma automática cuando el CDCE detecta que no hay red exterior. Si no arranca porque la centralita está en modo manual el CDCE emite una alarma sonora y acústica avisando de que el grupo debe arrancarse de forma manual. Si el operador no lo arranca entonces empieza a funcionar el SAI.

Figura 16: Grupo electrógeno del PCBON
Fuente: Amper Programas, 2013 [27].

5.3. Conclusiones del Sistema de Alimentación

La climatización de la estación es con diferencia el equipo que más energía consume. Por ello cuando la estación está funcionando en estático y no dispone de una red exterior se alimenta del grupo electrógeno. Si se alimenta de las baterías auxiliares de la estación la autonomía son un máximo de 140 minutos, excluyendo la climatización. Esto es una carencia del sistema.

El sistema propuesto sustituirá al grupo electrógeno, vital para el funcionamiento de los equipos eléctricos de la estación. El último elemento del sistema del proyecto será un inversor de corriente de mayor potencia que el de la estación. El inversor de la estación no aguantaría la potencia de las baterías del proyecto, las cuales están dimensionadas para que alimenten la climatización de la estación. La energía convertida a corriente alterna por el inversor posteriormente pasará por el CDEC para que lo distribuya de forma correcta a los distintos elementos de la estación.

Los equipos de la estación trabajan a distintas tensiones, no solo a 220 Vac. A pesar de ello el sistema propuesto alimentará la estación con esa corriente alterna. Es lo más eficiente para evitar manejar distintos cables, que trabajan a diferente voltaje, conectados a distintos elementos de la estación, evitando posibles errores.

Por último, el sistema de alimentación del proyecto utilizará energías renovables, lo que le permitirá a la estación no ser dependiente del combustible del grupo electrógeno, así como de una red eléctrica exterior. De todos modos, el grupo electrógeno siempre se cargará en la zona de transporte del vehículo para casos de emergencia.

6.DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Todos los equipos del sistema de generación de energía eléctrica mediante energía solar fotovoltaica serán transportados en la zona de carga del camión IVECO 7226. La masa máxima que puede transportar el vehículo para no modificar las capacidades de movilidad, manteniendo las condiciones de seguridad es hasta cuatro toneladas [20].

El sistema propuesto se trata de un sistema aislado, esto es porque no llega la red de distribución eléctrica para proporcionar electricidad a los usuarios y el consumo de energía es relativamente pequeño, como para poder suministrar energía eléctrica mediante energías renovables [19].

Un sistema aislado fotovoltaico como representa la Figura 17 se compone de un número de placas solares que producen energía eléctrica a partir de la radiación solar, un regulador de carga que fundamentalmente preserva a los acumuladores de un exceso de carga, un sistema de acumulación que garantice la autonomía de alimentación de carga eléctrica y un inversor cuya función es transformar la corriente continua producida por las placas en corriente alterna para aquellos equipos que la necesiten [21]. En el sistema propuesto el inversor estará conectado con el CDEC para transmitirle la energía eléctrica de igual modo que de un grupo electrógeno se tratase.

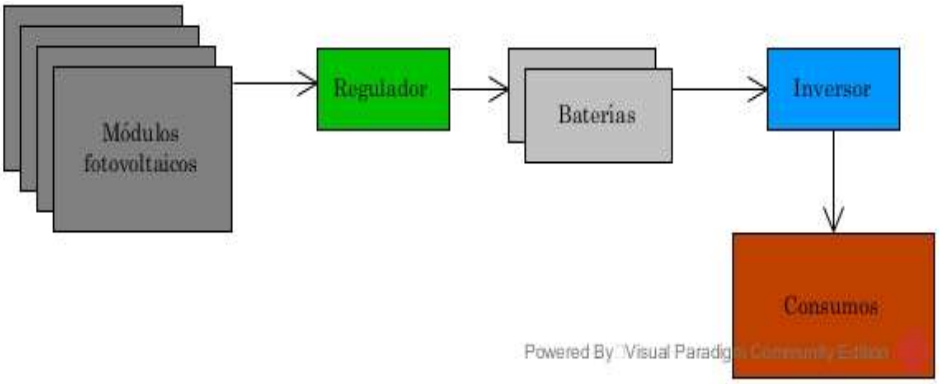


Figura 17: Diagrama equipos instalación fotovoltaica
Fuente: Elaboración propia, 2019.

La utilización del PCMOV no tiene por qué prolongarse mucho en el tiempo, pero no se sabe en qué situación o fase de la maniobra se utilizará, en consecuencia, el sistema está provisto con sistemas de acumulación para suministrar electricidad de forma ininterrumpida. Esto se hace porque las placas fotovoltaicas solo pueden suministrar energía eléctrica durante las horas diurnas, y no de forma continua, dependerá de los factores climatológicos.

El dimensionamiento se ha realizado suponiendo que es invierno en la localización de la instalación. Es el caso más desfavorable que puede darse debido a que durante esas fechas los días tienen un horario solar menor, peor meteorología con menor luz solar y al hacer más frío la climatización del PCBON expulsa calor, lo que incrementa en gran medida el consumo energético.

La energía para alimentar a los equipos del PCBON se generará mediante un sistema híbrido: una serie de paneles fotovoltaicos y en caso de que el sistema no sea suficiente o se consuman las baterías, se auxiliará la demanda energética con el grupo electrógeno del PCBON.

6.1. Consumo energético

Los cálculos de este proyecto están hechos para satisfacer las necesidades energéticas del vehículo PC-BON sobre VAMTAC, siendo los consumos "tipo" de éste muy similares a los PCBON sobre vehículo TOA, BMR o PIZARRO debido a que el número de equipos en su interior y operadores son análogos en los distintos vehículos.

Para calcular la energía mínima necesaria a generar hay que aplicar la fórmula [22]:

$$E = P \times U \times t$$

- E: Consumo energético (Wh).
- P: Potencia de cada equipo (W).
- U: Número de unidades de cada equipo.
- t: Tiempo de funcionamiento de cada equipo (h).

Los equipos y sus potencias de cada equipo se han extraído del manual "Puesto de Mando de Batallón/Grupo sobre VAMTAC" [23] y de no encontrarse en dicho manual de la ficha técnica de cada equipo. Mientras que el tiempo de funcionamiento de los distintos equipos ha sido estimado por un suboficial jefe del Pelotón de Transmisiones del Batallón de Zapadores XII con gran experiencia en el Puesto de Mando Móvil. Las horas máximas de uso de cada equipo son 24 horas que es el tiempo máximo de uso del PCMOV durante un día, el caso más desfavorable pues el uso del PCMOV no suele ser tan duradero. A continuación, se detallan el razonamiento de estos tiempos:

- Actualmente debido a que no todas las unidades están dotadas de estos medios, no se usan ni el "kit vehicular radio UHF" (radioteléfono SPEARTNET) ni el "Terminal Inmarsat BGAN". Tampoco se usa el "teléfono IP" porque no es necesario con el uso de las radios.
- El "conversor USB / serie (PC-BON FDC)", "punto de Acceso WIFI", "switch Interno" y "pasarela VOIP" se ha considerado 24 horas debido a que están en continuo funcionamiento y no tienen un elevado consumo.

- El sistema de iluminación estará funcionando 24 horas porque las luminarias no se apagan, aunque haya luz diurna.
- Los monitores y las Tablet-PC no se desconecten, se ha considerado que estén al máximo rendimiento 8 horas.
- El "trípode con Luz Halógena" se ha estimado también 8 horas porque en caso de decisión del Mando se emplearía en algunas horas del periodo nocturno.
- La impresora "Multifunción CANON MX 895" se ha estimado que como máximo se utilizaría 1 hora en un día completo.
- La "Configuración Vehicular de Radioteléfono Medio VHF" (radio PR4G) y la "Configuración Vehicular HF de Harris" se ha considerado un uso menor a 1/3 del día debido a que su consumo pico es únicamente cuando el terminal está emitiendo. El resto del tiempo apenas consume energía.
- El aire acondicionado se ha estimado 6 horas. Tiene 3 velocidades y 3 niveles de potencia, estando ambos al mínimo buscando el ahorro energético.

Con toda esta información se ha podido elaborar la Tabla 2 que muestra el número de equipos, el consumo de cada equipo, las horas diarias de uso de cada equipo y la energía que consume por día cada equipo. El objetivo final es calcular el consumo total de los equipos del PCBON.

Equipo	Cantidad	Consumo (W)	Consumo*cantidad (W)	Horas diarias (h)	E (Wh/día)
Conversor USB	2	4,32	8,64	24	207,36
Monitor	2	35	70	8	560
Tablet-PC	3	64,98	194,94	8	1559,52
Multifunción CANON MX 895	1	150	150	1	150
Teléfono IP	3	5	15	0	0
Punto de Acceso WiFi	1	10	10	24	240
Switch Interno	1	4,62	4,62	24	110,88
Pasarela VoIP	1	36	36	24	864
Kit Vehicular Radio UHF	1	4,2	4,2	0	0
Kit Vehicular Radio VHF	2	234	468	6	2808
Terminal Inmarsat BGAN	1	150	150	0	0
Configuración Vehicular HF de Harris	1	520	520	6	3120
Climatización	1	1800	1800	6	10800
Trípode con Luz Halógena	1	150	50	8	400
Sistema de iluminación	3	18	36	24	864

Tabla 2: Consumos equipos PCBON
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Se puede observar claramente que la climatización es el equipo que demanda más energía eléctrica. Finalmente, la energía mínima para generar cada día que se ha calculado son 22915,76 Wh.

Como propuesta de mejora buscando un consumo más eficiente, se va a sustituir el sistema de iluminación que consiste en tres plafones de luz blanca con fluorescentes de 18 W por unos plafones LED de 12 W de consumo. Y el trípode con luz halógena de 150 W por uno semejante, pero con tecnología LED de 50 W de consumo. Esto en cálculos finales reduce un módulo fotovoltaico de la instalación y la energía eléctrica necesaria por día pasaría a ser 21683,76 Wh, aproximadamente 22 kWh.

6.2. Paneles fotovoltaicos

Una vez determinada la energía requerida por la instalación se puede calcular la energía eléctrica que deben generar los paneles fotovoltaicos, así como el modelo del panel a utilizar y dimensionar el número de paneles. Dichos paneles o módulos fotovoltaicos son una unión de células fotovoltaicas conectadas entre sí en serie para alcanzar cierto voltaje como ya se ha contado anteriormente. Una célula fotovoltaica transforma la energía de la radiación solar, es decir, radiación electromagnética en corriente eléctrica [24].

Horas de sol pico (HSP)

Las horas solares pico (H.S.P.) es un concepto teórico que se utiliza para dimensionar los paneles fotovoltaicos. Son el número de horas de sol con una intensidad de radiación de 1000 W/m^2 incidiendo perpendicularmente sobre la superficie del panel que tendría un día imaginario en el que el panel recibiría la misma radiación que un día real [24]. Este valor teórico representa la energía producida en un día por un módulo fotovoltaico como si estuviera funcionando únicamente las horas de sol pico a potencia máxima (1000 vatios), es decir, un panel de 100 W con 4 HSP produciría en un día 400 Wh [22].

Este factor depende en gran medida de la inclinación, orientación y la ubicación de las placas. Para recopilar los datos de HSP según la posición geográfica, la orientación y la inclinación se ha utilizado la base de datos de radiación solar “PVGIS”. La inclinación y orientación óptima de los paneles dependen de la época del año y la latitud geográfica siendo muy importantes para obtener un mayor rendimiento de la instalación. La energía radiada a una superficie está directamente relacionada con el ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie, siendo máxima cuando

incide perpendicularmente. En verano si las placas están orientadas hacia el Este o el Oeste sufren una importante carga de radiación, que se ve disminuida si están orientadas hacia el Sur. En cambio, en invierno el número de horas de sol sobre la orientación sur es mayor [24].

Las instalaciones fotovoltaicas fijas en el hemisferio norte suelen orientarse hacia el Sur geográfico porque el promedio anual es mayor, asique porque el dimensionamiento de la instalación es en Besmayah (Irak) como se va a explicar más tarde, y porque el dimensionamiento se va a realizar en diciembre, las placas de la instalación se orientarán hacia el Sur geográfico.

Según el periodo de diseño la inclinación óptima varía. Según la IDAE [25], la inclinación óptima en diciembre es la latitud del lugar en grados más 10, en julio la latitud del lugar menos 20 y si se diseña para el periodo anual, la inclinación óptima es la latitud del lugar menos 10 grados.

Para calcular las HSP de la instalación hay que calcular previamente la radiación en una superficie horizontal, un coeficiente de inclinación, un factor de irradiación y un factor de sombreado. La radiación en una superficie horizontal se obtiene de la fuente de datos "PVGIS", y el coeficiente de inclinación según el periodo de diseño de la Tabla 3:

Periodo de diseño	**K**
Diciembre	1,7
Julio	1
Anual	1,15

Tabla 3: Coeficiente de inclinación
Fuente: IDAE, 2010

El factor de irradiación (FI) representa en porcentaje las pérdidas de radiación respecto a la orientación e inclinación óptimas. Se calcula con la siguiente fórmula:

- $FI = 1 - [1{,}2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2 + 3{,}5 \times 10^{-5}\alpha^2]$ para 15° < β < 90°
- $FI = 1 - [1{,}2 \times 10^{-4}(\beta - \beta_{opt})^2]$ para β ≤ 15°
    - FI: Factor de irradiación (%).
    - α: Ángulo de azimut en grados.
    - β: Ángulo de inclinación en grados.

Finalmente, las HSP se calculan con la siguiente fórmula:

$$HSP = H \times K \times FI \times FS$$

- HSP son las horas solares pico.
- H es la radiación en una superficie horizontal (kWh/m^2).
- K es el coeficiente de inclinación.
- FI es el factor de irradiación (%).
- FS es el factor de pérdidas por sombreado (%).

En el sistema del proyecto la estructura es variable, lo que permite cambiar la inclinación de las placas por un operador según la posición del Sol en cada momento, asique a la hora de los cálculos se considera que están en una inclinación óptima.

A continuación, se representa un gráfico de la radiación en una superficie horizontal (kWh/m^2) de cinco localizaciones a lo largo del año: Blat (Líbano), Kabul (Afganistán), Besmayah (Irak), Bamako (Mali) y Bangui (República Centroafricana). La orientación de la superficie es Sur geográfico. Se han escogido 3 localizaciones en Oriente Medio y 2 en África donde hay desplegado contingente español para observar la diferencia de radiación en cada lugar, lo que implicará en definitiva diferente número de placas fotovoltaicas. En la Figura 18 se observa que en África hay más continuidad a lo largo del año, en cambio en Oriente Medio hay un claro decremento de la radiación solar durante los meses de invierno, e incremento en verano.

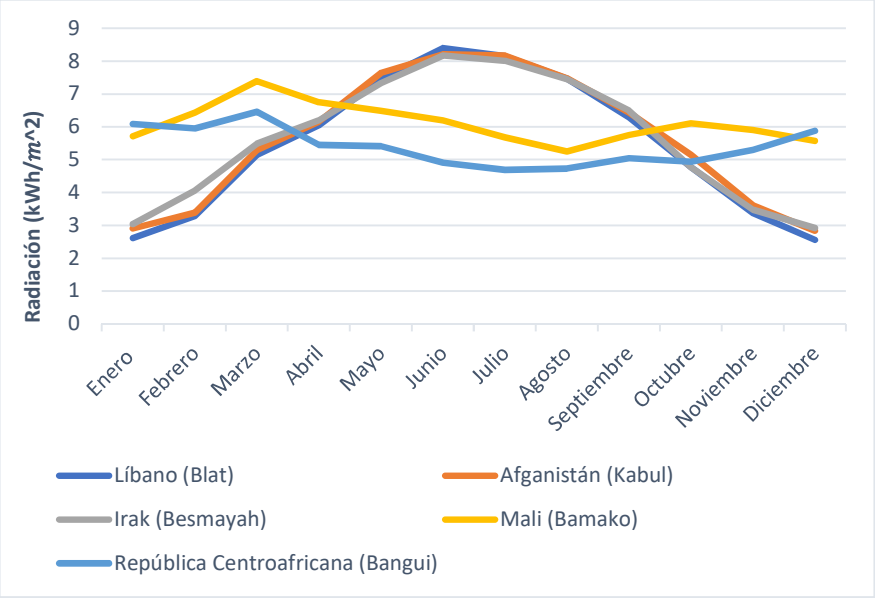


Figura 18: Radiación anual
Fuente: PVGIS, 2019.

Finalmente se han calculado las HSP para cada una de las localizaciones escogidas: en El Líbano 4,35, en Afganistán 4,83, en Irak 4,96, en Mali 9,47 y en República Centroafricana 10,00. Como se podía prever por la Figura 18, las HSP son mucho mayores en las localizaciones de África.

Para el dimensionamiento de la instalación se utilizará como modelo la ubicación de la Base Gran Capitán en Besmayah, Irak (33° 11' 44" Norte, 44° 36' 40" Este). Se ha escogido esta localización porque no es ni la más desfavorable ni la más favorable. A pesar de ello, el dimensionamiento de una instalación fotovoltaica debe hacerse en el mes más desfavorable, en este caso es diciembre.

El sistema del proyecto debe ser considerado para que se pueda desplegar en diferentes países con condiciones climatológicas dispares. Pero para el dimensionamiento de la instalación se deben usar datos concretos.

Potencia paneles necesaria

Una vez que se sabe el consumo que requieren los equipos y las HSP de la instalación en la ubicación seleccionada ya se puede calcular la potencia que debe producir el generador fotovoltaico:

$$W_p = E \div HSP$$

- W_p: Potencia pico paneles fotovoltaicos (W).
- E: Consumo total de los equipos en un día (kWh).
- HSP: Horas solares pico (h).

En Besmayah en diciembre hay 4,96 HSP y la energía a producir mediante los paneles fotovoltaicos es 21683,76 Wh de manera que se obtiene una potencia pico total de los paneles de 4367,85 W. Esta potencia se ha decidido incrementar un 20% debido a las pérdidas que introducen los elementos seleccionados para la instalación:

- Eficiencia del inversor: 95 %
- Eficiencia de las baterías: 97 %
- Eficiencia del regulador: 99 %
- Otros (cableado, pérdidas por temperatura): 0,09 %

Finalmente son 5241,42 W de potencia pico total necesaria de los paneles.

Elección del panel fotovoltaico

Se han estudiado seis modelos distintos de paneles fotovoltaicos[4] considerados paneles solares Premium [27]. Todos ellos son de dimensiones similares, pero se ha elegido el modelo "SunPower X-Series: X22-360[5]" debido a su alta eficiencia por lo cual es el que menos unidades necesita para suplir la demanda energética.

Para elegir el modelo de panel fotovoltaico y el número de unidades que se requieren debe saberse la potencia pico total y la tensión del sistema. La tensión del sistema la marca la batería siendo 48 V. El número de paneles en serie de la instalación será [22]:

[4] En el Anexo A están reflejados el resto de los paneles estudiados, así como sus características principales.

[5] En Anexo F se expone la ficha técnica.

$$N_{serie} = V_{sistema} \div V_{panel}$$

- N_{serie}: Número de paneles en serie.
- $V_{sistema}$: Tensión del sistema elegida (V).
- V_{panel}: Voltaje en máxima potencia (V) de los paneles fotovoltaicos escogidos.

El modelo "SPR-X22-360" del fabricante "SunPower", cuyo voltaje en máxima potencia (Vmpp) son 59,1 voltios. Debido a lo cual únicamente se necesitará una rama de paneles en serie.

El número de paneles en paralelo se calcula con la fórmula [22]:

$$N_{paralelo} = W_p \div (W_{panel} \times N_{serie})$$

- $N_{paralelo}$: Número de paneles en paralelo.
- W_p: Potencia pico calculada previamente, teniendo en cuenta las pérdidas (W).
- W_{panel}: Potencia nominal del panel fotovoltaico (W).
- N_{serie}: Número de paneles en serie.

La potencia nominal del panel elegido son 360 vatios, de modo que se llega al resultado de que se necesitan para el sistema 15 paneles en paralelo, es decir, 15 paneles totales. A continuación, la Tabla 4 muestra el resultado del número de paneles fotovoltaicos necesario según los seis modelos seleccionados en las cinco localizaciones previamente mencionadas. El modelo escogido es el panel que menos unidades necesita.

Localización	Líbano	Afganistán	Irak	Mali	República Centroafricana
SW 300	20	18	18	10	8
SW 290	21	19	18	10	9
SPR-X22-360	17	15	15	8	9
SPR-X21-345	18	16	16	9	8
N330 HIT	18	17	16	9	8
N325 HIT	19	17	17	9	8

Tabla 4: Número de paneles según la localización
Fuente: Elaboración propia, 2019.

6.3. Regulador de carga

El uso de un regulador de carga se considera imprescindible en aquellas instalaciones que utilicen cargas impredecibles o un sistema de acumulación optimizado o infradimensionado como es el caso de las instalaciones fotovoltaicas. En una instalación fotovoltaica como la del proyecto, durante la noche el voltaje de salida de los paneles fotovoltaicos es nulo, al igual que en los momentos de menor insolación como el amanecer, atardecer o días nublados. En estos casos los paneles no pueden cargar las baterías, de manera que se debe controlar la carga mediante el regulador de carga, aislando el generador fotovoltaico de las baterías, evitando así la descarga innecesaria de las baterías.

A parte de protección contra sobrecarga y sobredescarga de las baterías, el regulador de carga también ofrece protección contra: corriente inversa de batería, polaridad inversa, cortocircuito, sobretensiones, desconexión de línea y baja/alto tensión en batería. [22].

Cuando la insolación aumenta y la tensión de los paneles supera a la de los acumuladores, el proceso de carga se reanuda. La tensión que pueden proporcionar los paneles es mayor que la de las baterías por lo que debe controlarse el proceso de carga, en ese caso, se produce una sobrecarga de las baterías. El regulador de carga se utiliza para evitar dicha sobrecarga, aumentando la vida útil de las baterías [22].

Dimensionamiento del regulador de carga

Para nuestro dimensionamiento tenemos que tener en cuenta la tensión nominal del sistema (V) y la corriente máxima que puede circular por el regulador (A). La tensión nominal del regulador debe coincidir con la tensión de trabajo de los paneles fotovoltaicos y los acumuladores. El relé del regulador que interrumpe o permite el paso de corriente de los generadores a los acumuladores debe ser de una intensidad mayor que [24]:

$$I_R = N_p \times i_{mpp}$$

- I_R: Intensidad mínima del regulador de carga (A).
- N_p: Número de paneles fotovoltaicos en paralelo.
- i_{mpp}: Intensidad de máxima potencia del panel (A).

Para seleccionar correctamente el regulador de carga también se debe tener en cuenta que debe ser un 25% superior a la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico en CEM[6](Condiciones Estándar de Medida) y un 25% superior a la corriente máxima de la carga de consumo [21]. Si la intensidad fuera muy elevada y no fuera suficiente con un regulador se pueden colocar varios en paralelo [22].

Las características del regulador deberán de ser 48 V de tensión nominal y 115 A de corriente máxima. El regulador seleccionado es el modelo “PC1500B-6048D”de la marca “Solar System[7]”como muestra la Figura 19. En este caso se ha optado por la solución más sencilla de colocar dos reguladores de 60 A en paralelo dejando cierto margen de seguridad. El peso de cada regulador es de 407 g.

[6] CEM: Se definen por 1000 W/m^2 de irradiancia con una distribución espectral AM1.5G y 25°C de temperatura.

[7] En Anexo F se expone la ficha técnica.

Figura 19: Regulador de carga "Solar System"
Fuente: Ficha técnica, 2019.

6.4. Acumulador

Resulta imprescindible almacenar la energía eléctrica cuando procede de la radiación solar debido a que el proceso de consumo de dicha energía puede variar en el tiempo al del proceso de captación. Se busca no depender lo máximo posible de los factores climatológicos, que hacen que esta energía procedente de la radiación solar no sea continua en el tiempo.

Los principales tipos de batería que hay son de: plomo-ácido, niquel-cadmio, niquel-hidruro metálico, iones de litio y polímero de litio. Tienen características muy variadas, pero para el sistema se va a utilizar una batería de ión-litio o batería de litio. Se descarta el uso de baterías estacionarias[8] por sus dimensiones y peso. Las baterías de litio en cambio tienen una gran capacidad en relación con su peso y volumen [28] [29]. Al ser más ligera y pequeña puede ir en la plataforma del camión IVECO 7226.

Dimensionamiento del acumulador

La capacidad de la batería necesaria para el sistema se calcula como:

$$C = (1{,}1 \times E_{consumo} \times d) \div V_{sistema}$$

- C es la capacidad de la batería requerida por la instalación en Ah.
- $E_{consumo}$ es el consumo de la instalación en vatios-hora por día.
- d es la autonomía en días.
- $V_{sistema}$ es la tensión del sistema en voltios.

Hay que tener en cuenta la profundidad de descarga de la batería[9]. Si la descarga es profunda (60-80% de la capacidad nominal) menos ciclos de uso dará la batería. Esto no supone un problema

[8] Baterías idóneas para usos continuos y estacionarios, es decir, sin cambio de lugar. El bloque de baterías se compone por grupos de vasos de 2 V, ocupando gran volumen.

[9] Porcentaje de la capacidad total de la batería que se usa durante un ciclo de carga o un ciclo de descarga [36].

porque las baterías de litio se pueden descargar casi al completo. Aguantan unos 8000 ciclos a un 80% de descarga [30].

- Se ha elegido la batería "Mercedes-Benz Home 24.0[10]" representada en la Figura 20, está compuesta por 8 módulos más pequeños pesando en total 266 kg. La batería completa tiene una capacidad al 100% de 500 Ah y nuestro sistema requiere 496,92 Ah. Si se descarga hasta el 80% para alargar la vida útil de la batería, no podrá suplir la demanda energética.
- Se han estudiado otras alternativas como el uso de baterías de gel. Estas sí que podrían suplir la demanda energética que requiere el PCBON, pero por sus dimensiones y peso no es factible integrarlo en la plataforma del camión. Se han analizado otras baterías de litio preparadas para instalaciones fotovoltaicas[11] pero el modelo escogido es el de mayor capacidad.
- Se ha dimensionado para la peor de las situaciones en las que la batería deba alimentar al PCBON, que es que tenga que proporcionarle energía durante un día entero. Lo más común será que durante el día las baterías estén alimentando al PCBON y al mismo tiempo se estén cargando. Cuando no haya luz solar, será la batería la que alimenta el PCBON.

Figura 20: Batería "Mercedes-Benz"
Fuente: Mercedes, 2019.

6.5. Inversor

La misión del inversor de corriente es transformar el voltaje de las baterías (corriente continua) en el caso de la instalación es 48 V en un voltaje de 230 V (corriente alterna), similar al voltaje que proporciona el grupo electrógeno del PCBON.

[10] En el Anexo F se expone la ficha técnica.

[11] "SYMO HYBRID 5.0-3-S" del fabricante "Fronius", "B-Box Pro 13.8" del fabricante "BYD" y "RESU10" del fabricante "LG".

Dimensionamiento del inversor

Para escoger el inversor que más se adapta al sistema hay que tener en cuenta la potencia nominal que es capaz de proporcionar el inversor de forma continua durante un uso normal de la estación y la potencia pico[12] que se produce en espacios de tiempo más cortos.

La instalación no tiene grandes equipos como lavadoras con potencias picos elevadas, así que se tendrá en cuenta la suma de todas las potencias de aquellos equipos que se utilicen en la instalación, no llegando a 3500 vatios. Se escoge el inversor "Phoenix" modelo "48/5000[13]" como el de la Figura 21 con potencia continua de salida de 4000 W, un 20% superior a la necesaria para dar cierto margen de seguridad. Se han descartado otros inversores del mercado porque muchos de ellos eran inversores/cargadores. Éstos iban a cumplir la misma función que el inversor seleccionado, pero por un coste mayor.

Figura 21: Inversor "Phoenix"
Fuente: Ficha técnica, 2019.

6.6. Cableado

Algunas veces se les da demasiada importancia a los grandes equipos de la instalación fotovoltaica y los cables eléctricos pasan desapercibidos. Cuando un error en el dimensionamiento puede reducir en gran medida la producción de energía eléctrica, así como un funcionamiento irregular de los equipos y disminución de su vida esperada.

Los distintos tramos de cable con sus características particulares son: de los paneles fotovoltaicos a la caja de conexiones, de la caja de conexiones al regulador, del regulador a las baterías, de las baterías al inversor, del inversor al consumo de los equipos (estación PCBON).

[12] Potencia demandada al arrancar algunos electrodomésticos de alta potencia o en momentos en los que hay varios de estos aparatos conectados al mismo tiempo.

[13] En el Anexo F se expone la ficha técnica.

Los cables seleccionados son cables especialmente diseñados para instalaciones fotovoltaicas tanto fijas como móviles. Debido a su doble aislamiento y materiales son adecuados para su uso a la intemperie. Y son flexibles lo que le permite adaptarse a trazados complicados.

Dimensionamiento cableado

Hay dos métodos para el cálculo de la sección del cableado: usando el criterio de la intensidad admisible y el criterio de la caída de tensión. Para ambos cálculos hay que utilizar el REBT [31] (Reglamento Electrónico de Baja Tensión) y la norma UNE 20460-5-523. A continuación, el proceso de cálculo que se ha seguido según ambos criterios[14]:

Para utilizar el criterio de la intensidad admisible en cada tramo hay que tener en cuenta la intensidad máxima que en régimen permanente va a circular por el cable. Esta intensidad hay que incrementarla un 25% según indica el punto 5 (Cables de conexión) del ITC_BT_40 (Instalaciones generadoras de Baja Tensión) del REBT. Luego hay que utilizar la tabla A.52-1 de la UNE 20460-5-523 teniendo en cuenta que el conductor es cobre electrolítico. Debido a que la temperatura de la instalación en ocasiones será de hasta 50° C, hay que mayorar la intensidad (tabla 52-D1) un 21,2195% (la intensidad se reduce por la temperatura un 82%). Los cables de la instalación irán tendidos en bandeja rejilla, por ello es una instalación tipo F. Y por último el aislamiento del cable es XLPE[15].

La fórmula con la que se obtiene la sección del conductor por el criterio de la caída de tensión es la siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I}{\gamma * e}$$

- L: Longitud del cable (m).
- I: Intensidad nominal (A).
- γ: Conductividad del cobre (para aislantes termoestables a 90°, siendo lo más desfavorable, es 45,49 $m/\Omega * mm^2$).
- E: Caída de tensión máxima (V).

La caída de tensión está limitada a máximo 1,5 % para la intensidad nominal en el punto 5 de la ITC-BT 40 del REBT. Con el resultado de la fórmula hay que seleccionar la sección comercial de calibre superior.

14 En el Anexo C se muestran los cálculos realizados.

15 Polietileno reticulado, se diferencia del PVC en que el XLPE es termoestable, es decir, los cambios de temperatura no modifican sus propiedades mecánicas.

Se ha escogido la mayor sección de entre los dos criterios por seguridad. Finalmente, los cables escogidos para cada tramo son los reflejados en la Tabla 5:

Línea	Longitud	Modelo	Sección
Paneles a caja de conexiones	10 m	H07RN-F Xtrem	4 mm^2
Caja de conexiones a regulador	10 m	POWERFLEX RV-K	50 mm^2
Regulador a baterías	4 m	POWERFLEX RV-K	50 mm^2
Baterías a inversor	4 m	TOPSOLAR PV ZZ-F	25 mm^2
Inversor a PCBON	20 m	TOPSOLAR PV ZZ-F	25 mm^2

Tabla 5: Sección cableado
Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la Figura 22: Esquema final se ilustra un esquema final del sistema que representa cada equipo, sus conexiones indicando la sección del cableado, los elementos que van alojados en la zona de carga del camión IVECO 7226 y los elementos que van fuera. Como es el caso de dos módulos fotovoltaicos que en la propuesta de diseño del siguiente capítulo se refleja que de los 15 módulos fotovoltaicos a la hora de desplegar el sistema hay que sacar 2 módulos fuera del camión.

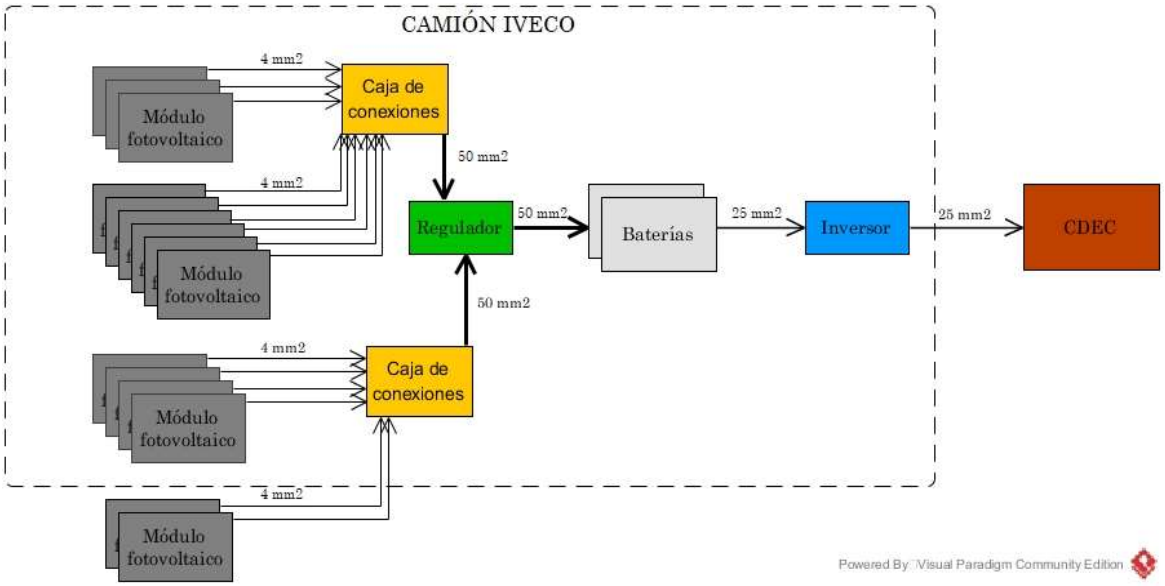


Figura 22: Esquema final del sistema
Fuente: Elaboración propia, 2019.

7.PROPUESTA DE DISEÑO

Para el transporte de todos los elementos del capítulo 6 se ha elegido el camión IVECO 7226 por ser un vehículo de ruedas con una capacidad de movilidad similar a la del PCBON en plataforma VAMTAC, así como su capacidad de carga. Se modifica la caja del camión (de 2.4 x 4.3 metros) de manera que quede completamente vacía y se le pueda incorporar la estructura propuesta.

El mayor inconveniente es el gran número de placas que deben estar inclinadas de manera óptima y sin darse sombra unas a otras. Las placas cubren una superficie mucho mayor que la del camión, por esta razón, a la hora de poner en funcionamiento el sistema la estructura se desplegará. En cambio, en el momento de transportar el sistema, la estructura se recogerá de forma que no sobresalga parte de la estructura por los lados del camión.

La Figura 23 representa la estructura diseñada en CYPE (2016) que carga la caja del camión. En la situación de la figura las placas están dispuestas a 45°.

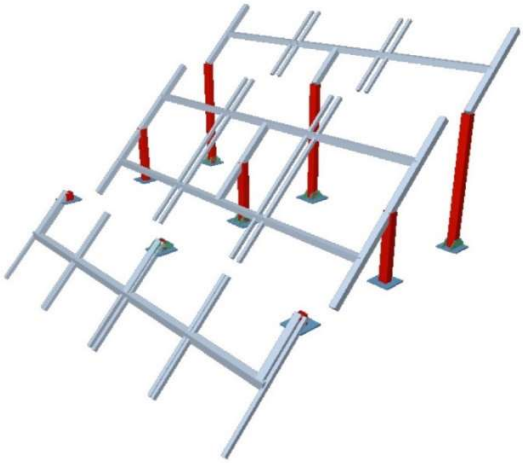


Figura 23: Estructura desplegada
Fuente: Elaboración propia, 2019.

7.1. Descripción del diseño

La estructura diseñada está diseñada para que sujete 13 placas solares del modelo seleccionado en el capítulo 6, separadas en tres subestructuras. Para ello se han soldado en la base de la caja del camión 9 perfiles de acero UF-100x5 doble en cajón soldado de tres longitudes diferentes: 10 cm los tres de la izquierda, 75 cm los del medio y 150 cm los de la derecha. Están separados cubriendo todo el largo y ancho de la caja del camión, es decir, separados entre sí 215 cm y 120 cm respectivamente.

Sobre dichos pilares se han unido perfiles de aluminio macizos cuadrados. Los tres perfiles de aluminio que se han utilizado son: BC-35, BC-40, BC-70 y BC-80. Sobre estas barras de aluminio se han unido mediante ganchos las 13 placas solares: 4 en la subestructura de la izquierda, 6 en la del medio y 3 en la más alta, la de la derecha. Las placas de la izquierda están giradas 90° respecto al resto de la instalación y sobresalen completamente del vehículo, pero sin riesgo de tocar el suelo porque la superficie de la caja está a una altura de 1,5 m respecto del suelo. En la Tabla 6 se resumen los materiales empleados.

Resumen de medición										
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso
Tipo	Designación			Perfil (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero conformado	S235	Conformados U	UF-100x5, Doble en cajón soldado	7.050	7.050	0.013	0.013	100.05	100.05	100.05
Aluminio extruido	EN AW-5083	(ER/B) BC	BC-70	21.030	51.175	0.103	0.181	278.23	487.95	487.95
			BC-35	4.240		0.005		14.02		
			BC-80	6.465		0.041		111.72		
			BC-40	19.440		0.031		83.98		

Tabla 6: Resumen materiales estructura
Fuente: CYPE, 2019.

Para llegar al número de placas del dimensionado se transportan dos placas más en el vehículo para su despliegue en el suelo en las inmediaciones del camión. El resto de los elementos de la instalación se ubican debajo de la estructura propuesta.

7.2. Dimensionado de los perfiles

Las normas consideradas por CYPE para el cálculo han sido: EHE-08 (Instrucción de Hormigón Estructural), CTE DB SE-A (Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural Acero) y el Eurocódigo 9.

La elección de los perfiles metálicos se ha hecho seleccionando el mayor entre las dos hipótesis planteadas. Las cargas utilizadas para ambas hipótesis son la máxima carga de viento que

soportan las placas según el fabricante[16], una carga de 10 cm de nieve que ocupan toda la superficie de las placas y el peso propio de las placas. El viento se ha reflejado para el cálculo como una carga distribuida perpendicular a las placas en ambas situaciones, en cambio, la nieve es una carga distribuida vertical. Las dos hipótesis planteadas para el cálculo son:

- La estructura en horizontal, más desfavorable a la carga de nieve.
- La estructura orientada a 45°, más desfavorable a la carga del viento.

El Anexo G muestra un informe con la tabla de mediciones de todos los materiales utilizados, así como los cálculos sobre la barra más desfavorable en cada una de las dos situaciones estudiadas.

7.3. Diseño sistema de despliegue

La estructura tiene que ser giratoria para poder recogerse para su transporte y desplegarse de manera rápida y sencilla. Además, si se varía la inclinación de las placas fotovoltaicas durante el día según la posición del Sol, su generación de energía es más eficiente.

Para el transporte, la subestructura de la izquierda se coloca de manera vertical, la del medio horizontalmente y la de la derecha de manera horizontal, pero las placas están dispuestas hacia dentro del camión.

La barra más desfavorable está sometida a un esfuerzo cortante de cálculo de 2,056 Tn, dicho esfuerzo debe soportarlo el rodamiento que está unido al perfil de aluminio y el vástago sobre el que gira el rodamiento que está soldado en el interior de los pilares de acero. El rodamiento seleccionado es el modelo SCF 20 ES de la empresa SKF. La capacidad de carga dinámica y estática básica es 30 y 63 kN respectivamente, con un diámetro interior de 20 mm. En el Anexo E se expone un modelo 3D del rodamiento, así como un croquis en 2D con sus dimensiones y principales características.

7.4. Placas individuales

Las otras dos placas fotovoltaicas restantes que no están sujetas por la estructura diseñada para el camión se despliegan en el suelo. Para ello, cada una tendrá dos “patas” que la sujetan pudiendo variar la inclinación de la placa. Se atornillan con tornillos M8x20mm y tuercas mariposa M8 a ambos lados perfiles lisos de aluminio bruto color gris plata de medidas 30 mm x 30 mm x 1,5

[16] 244 kg/m^2 por ambos lados.

mm de 1 m de longitud. La Figura 24 muestra un croquis hecho en SOLIDWORKS del modelo final de una placa individual desplegada para su generación de energía.

Figura 24: Placa individual
Fuente: Elaboración propia, 2019.

8.ANÁLISIS DE COSTES

Se ha realizado un análisis económico para determinar la rentabilidad del proyecto. El presupuesto se ha confeccionado con todos los elementos mencionados a lo largo de la memoria que son necesarios para llevar a cabo el diseño propuesto. Para el montaje de la estructura metálica y la instalación de los elementos eléctricos de la instalación fotovoltaica se ha tenido en cuenta el coste de la mano de obra de personal experto, estimado un tiempo de una jornada laboral para el montaje de la estructura y otra jornada laboral para la instalación eléctrica.

En el Anexo D se detallan los precios de cada elemento, el resultado final es 1.847,25 € de material para la estructura metálica, 26.068,96 € en elementos eléctricos y 551,68 € de mano de obra. El presupuesto final incluyendo un 21% de IVA es 28.467,89 €. De todo este coste destaca el alto coste de la batería suponiendo más del 50% del coste total. Se puede observar en la Tabla 7 que destaca el precio de la batería notablemente respecto al resto. Sería interesante su sustitución por otra más económica, pero sin perder prestaciones.

Estructura	Acero	115,11 €
	Aluminio	697,77 €
	Otros	1.034,37 €
Elementos instalación	Paneles solares	6.333,15 €
	Regulador	266,20 €
	Batería	16.648,12 €
	Inversor	1.848,03 €
	Otros	973,46 €
Mano de obra		551,68 €

Tabla 7: Resumen Costes
Fuente: Elaboración propia, 2019.

9. CONCLUSIONES

A lo largo del desarrollo del proyecto se ha propuesto una posible solución para alimentar a un PCMOV exclusivamente mediante energías renovables. A pesar de ello se ha tomado conciencia de la abundante energía eléctrica que requieren los equipos del PCBON, así como su dificultad para alimentarlos mediante energía solar fotovoltaica y un viable transporte y despliegue de este.

Para alimentar plenamente al PCBON se necesitan un número elevado de placas fotovoltaicas con la tecnología actual. Esto dificulta el transporte de las mencionadas placas y el resto de los elementos de la instalación fotovoltaica, para enmendar el problema se ha tenido que escoger un vehículo de mayores dimensiones que el PCBON. En el ámbito militar aún no se considera prioritario la reducción de combustible frente al decremento de seguridad.

Se ha analizado que varía mucho el número de placas fotovoltaicas según la localización geográfica. Si el sistema se va a emplear en países cercanos al Ecuador el número de placas se reduce cuantiosamente, de manera que sí es más viable para su transporte y despliegue.

Uno de los requerimientos que debía cumplir el sistema es que tenía la obligación de desplegarse y recogerse con brevedad para satisfacer los requisitos de un PCMOV. La utilización de energías renovables puede ser más factible para instalaciones fijas.

9.1. Líneas futuras de investigación

Se ha propuesto de forma concisa un diseño inicial de una estructura para montar encima del camión IVECO 7226. Para poner en marcha el sistema, con obligatoriedad debe perfeccionarse el sistema de las uniones giratorias por medio de rodamientos. Se debe concebir un sistema ya sea manual o mecánico para que la estructura con las placas no gire libremente, si no que quede fija en determinados ángulos.

Con la finalidad de mantener las capacidades tácticas del vehículo debe confeccionarse un procedimiento para colocar la lona del camión ocultando y protegiendo los elementos del sistema durante su transporte.

Por último, se han estudiado las cargas que debe soportar la estructura de manera estática, pero deben validarse los datos de forma empírica para ver cómo reacciona la estructura durante su transporte.

10. BIBLIOGRAFÍA

[1] S. Berdikeeva, «Energydigital» 2017.

https://www.energydigital.com/renewable-energy/us-military-winning-renewable-war.

[2] J. Campos, «Europa press»

https://www.europapress.es/economia/noticia-economia-empresas-acciona-optara-plan-energias-renovables-ejercito-eeuu-5300-millones-euros-20130902162918.html.

[3] MADOC, «Seminario “Eficiencia energética en campamentos militares"» 2014.

[4] Ministerio de Defensa, Cuadernos de Estrategia 193. El cambio climático y su repercusión en la defensa., Secretaría General Técnica, 2017.

[5] Departamento de Comunicación del Ejército de Tierra, Tierra, nº 254, 2017.

[6] J. Maíz, «PC VERDE: La innovación de dos militares del ET capaz de suministrar energía a puestos de mando» defensa, 2017.

[7] Jefatura de Adiestramiento y Doctrina de Logística, «Estudio sobre las aplicaciones de la energía solar para equipos militares» 2009.

[8] Schampan, «MARINES» 2016.

https://www.iandl.marines.mil/Photos/igphoto/2001535673/.

[9] K. Osborn, «Army» 2010.

https://www.army.mil/article/49138/army_evaluating_transportable_solar_powered_tents.

[10] K. Osborn, «Army evaluating transportable solar-powered tents» *U.S.ARMY,* 2010.

[11] Rtve, «Globos fotovoltaicos que proveen de electricidad en zonas sin suministro».*rtve noticias.*

[12] Movistar, «Blogthinkbig.com»

https://blogthinkbig.com/rawlemon-la-esfera-solar-que-mejora-en-un-70-la-eficiencia-de-los-paneles-fotovoltaicos.

[13] T. Cheshire, «'Rawlemon' may be the future of the solar panel» *WIRED,* 2014.

[14] INMESOL, «Las cometas Makani de Google: el futuro de la energía eólica eficiente».

[15] M. Michelson, «Is the Next Energy Alternative Taking Flight?» *Outside,* 2014.

[16] MANDO DE ADIESTRAMIENTO Y DOCTRINA, «ORIENTACIONES. PUESTOS DE MANDO» 2008.

[17] E. M. d. Ejército, Orientaciones "Organización y Funcionamiento de los Puestos de Mando de División, Brigada y Batallón", 1985.

[18] P. S. F. y. Á. P. Plaza, «ENERGÍAS RENOVABLES DESPLEGABLES: HACIA LAS MISIONES SOSTENIBLES» *Instituto Español de Estudios Estratégicos.*

[19] C. Álvarez, «Energía eólica» 2006.

[20] Admin, «GSTRIATUM»
https://gstriatum.com/2015/11/18/energia-solar-vs-energia-eolica-2/.

[21] Acciona, «SOSTENIBILIDAD Para todos,»
https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/las-energias-renovables-solar/.

[22] «Energía solar»
https://solar-energia.net/.

[23] ACCIONA, «ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA».

[24] SPECTROLAB, INC., «Spectrolab» 2019.
https://www.spectrolab.com/.

[25] G. Prieto, «El reparto de las horas de sol en el mundo» *Geografía infinita,* 2017.

[26] B. R. C. Vilarroya, Curso PCBON.

[27] Amper Programas, Puesto de Mando de Batallón/Grupo sobre VAMTAC, Madrid, 2013.

[28] OFICINA DE CARGAS, «AGRUPACIÓN DE TRANSPORTE Nº 1».

[29] E. Esteire, A. Madrid y A. Madrid, ENERGÍAS RENOVABLES. MANUAL TÉCNICO, Madrid: A. MADRID VICENTE, EDICIONES , 2010.

[30] J. M. F. Salgado, GUÍA COMPLETA DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y TERMOELÉCTRICA (Adaptada al Código Técnico de la Edificación y al nuevo RITE), Madrid: A. MADRID VICENTE, EDICIONES, 2008.

[31] Centro Nacional de Formación Profesional Ocupacional en Energías Renovables y Eficiencia Energética, Montaje y mantenimiento de instalaciones solares fotovoltaicas, Navarra: Gobierno de Navarra, 2010.

[32] M. O. Rodríguez, Energías Renovables, Madrid: Paraninfo, 2000.

[33] VALLDOREIX GREENPOWER, «Las Ventajas de los Seguidores Solares».

[34] IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, «Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red» Madrid, 2009.

[35] «Selección de los mejores paneles solares del mundo» *Sotysolar.*

[36] Baterías de Grafeno, «Baterías de Grafeno»

http://bateriasdegrafenopara.com/tipos-de-baterias/#Clases_de_baterias.

[37] TodoSai, «TodoSai»

https://todosai.com/blog/baterias-tipos-y-usos-b50.html.

[38] Monosolar, «monosolar»

https://www.monsolar.com/blog/baterias-de-ion-litio-ventajas-e-inconvenientes/.

[39] Ministerio de Industria, comercio y turismo, Reglamento Electrónico de Baja Tensión.

[40] «SKF,»

https://www.skf.com/es/products/bearings-units-housings/plain-bearings/general/welding-shank/index.html?designation=SCF%2020%20ES&unit=metricUnit.

[41] «MpptSolar»

https://www.mpptsolar.com/es/orientacion-inclinacion-paneles-solares.html.

[42] ENERGÍAS RENOVABLES, «ENERGÍAS RENOVABLES»

https://www.energias-renovables.com/eolica/escocia-conecta-el-primer-parque-eolico-marino-20171029.

[43] Real Academia de Ingeniería, «Real Academia de Ingeniería»

http://www.raing.es/es.

[44] Amper Programas, «Manual de Operación. Integrador IP de Comunicaciones. Edición de Bolsillo.».

[45] SPECTROLAB, «spectrolab»

https://www.spectrolab.com/company.html#history.

[46] SUNFIELDS, «SUNFIELDS»

https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/equipos-fotovoltaicos-baterias-solares-parte-iii/.

[47] A. Sims, «World's largest floating wind farm set for construction off Scottish coast» *INDEPENDENT,* 2016.

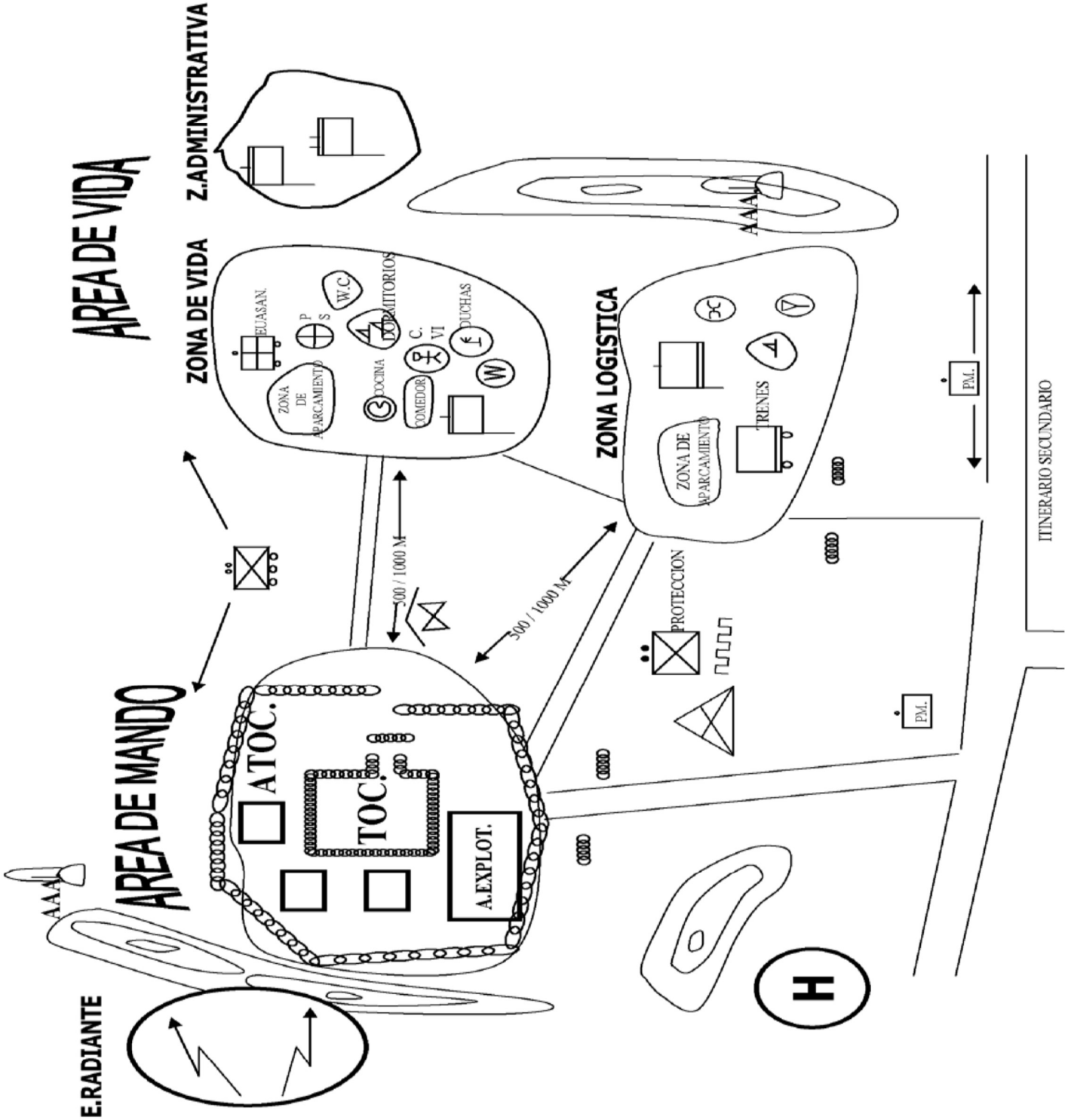
11. ANEXOS

11.1. Anexo A. Comparativa módulos fotovoltaicos.

Magnitud	SW 300	SW 290	SunPower X-Series: X22-360	SunPower X-Series: X21-345	Panasonic N330 HIT	Panasonic N325 HIT
Pmax (W)	300	290	360	345	330	325
Eficiencia (%)	17,3	17,89	22,1	21,2	19,7	19,4
Voc (V)	40	39,6	69,5	68,2	69,7	69,6
Vmpp (V)	32,6	31,9	59,1	57,3	58	57,6
Isc (A)	9,83	9,75	6,48	6,39	6,07	6,03
Impp (A)	9,31	9,2	6,09	6,02	5,7	5,65
Largo (mm)	1675	1675	1559	1559	1592	1592
Ancho (mm)	1001	1001	1046	1046	1055	1055
Grosor (mm)	33	33	46	46	36	36
Peso (kg)	18	18	18,6	18,6	18,5	18,5

Tabla 8: Modelos placas fotovoltaicas estudiadas
Fuente: Fichas técnicas, 2019.

11.2. Anexo B. Organización Puesto de Mando de División



11.3. Anexo C. Cálculos del cableado.

CRITERIO DE LA INTENSIDAD ADMISIBLE

Línea	Vpmp	Intensidad	˙ΔV	Longitud	Criterio intensidad admisible	Sección tabla (F, XLPE2)
Paneles-caja de conexiones	59,1	6,09 A	0,015 V	10,00 m	9,28 A	2 mm2
Caja de conexiones-regulador	59,1	91,35 A	0,015 V	10,00 m	139,25 A	25 mm2
Regulador-Baterías	48	115,00 A	0,015 V	4,00 m	175,30 A	50 mm2
Baterías-Inversor	48	90,00 A	0,015 V	4,00 m	137,20 A	25 mm2
Inversor-Consumos	230	90,00 A	0,015 V	20,00 m	137,20 A	25 mm2

Tabla 9: Cálculos cableado, criterio 1
Fuente: Elaboración propia, 2019.

CRITERIO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN

Línea	Vpmp	Intensidad	˙ΔV	Longitud	Caída V máxima	Sección por caída de tensión	Sección comercial
Paneles-caja de conexiones	59,1	6,09 A	0,015 V	10,00 m	0,8865 V	3 mm2	4 mm2
Caja de conexiones-regulador	59,1	91,35 A	0,015 V	10,00 m	0,8865 V	45 mm2	50 mm2
Regulador-Baterías	48	115,00 A	0,015 V	4,00 m	0,7200 V	28 mm2	35 mm2
Baterías-Inversor	48	90,00 A	0,015 V	4,00 m	0,7200 V	22 mm2	25 mm2
Inversor-Consumos	230	90,00 A	0,015 V	20,00 m	3,4500 V	23 mm2	25 mm2

Tabla 10: Cálculos cableado, criterio 2
Fuente: Elaboración propia, 2019.

11.4. Anexo D. Análisis de costes.

Estructura				
Material	Unidad	Cantidad	Precio/unidad	Importe
Pletina de acero laminado UNE-EN 10025 S275JR, para aplicaciones estructurales de 250x250 mm y espesor 12 mm	Ud.	9	1,34 €/Ud	12,06
Acero S275JR en pilares, con piezas compuestas formadas por perfiles laminados en caliente de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM con uniones soldadas.	kg	100,05	1,03 €/kg	103,0515
ESTRUCTURA DE ALUMINIO, con piezas simples de perfiles conformados en frío de las series C o Z, galvanizado y colocado en obra con tornillos.	kg	487,95	1,43 €/kg	697,7685
Tornillo M8x20 mm	Ud.	4	0,61 €/Ud	2,44
Tuerca mariposa M8	Ud.	4	1,80 €/Ud	7,2
Perfil liso aluminio 3 x 3 x 100 cm. 1.5 mm de espesor	m	4	6,29 €/m	25,16
Rodamiento SCF 20 ES, SKF	Ud.	9	109,73 €/Ud	987,57
Barra de acero para rodamiento 20 mm	Ud.	1	12,00 €/Ud	12
			TOTAL	1.847,25 €
Elementos instalación fotovoltaica				
Material	Unidad	Cantidad	Precio/unidad	Importe
Módulo solar fotovoltaico SunPower X-Series: X22-360	Ud.	15	422,21 €/Ud	6333,15
Regulador PC1500B-6048D	Ud.	2	133,10 €/Ud	266,2
Batería Litio Mercedes-Benz 24.0	Ud.	1	16.648,12 €/Ud	16648,12
Inversor Phoenix 48/5000, Victron Energy	Ud.	1	1.848,03 €/Ud	1848,03
Repartidor LEGRAND	Ud.	2	34,91 €/Ud	69,82
H07RN-F Xtrem 4mm²	m	300	1,49 €/m	447
Cable TOPSOLAR PV ZZ-F 25mm²	m	28	6,04 €/m	169,12
POWERFLEX RV-K, Top Cable 50mm²	m	48	5,99 €/m	287,52
			TOTAL	26.068,96 €
Mano de obra				
Material	Unidad	Cantidad	Precio/unidad	Importe
Oficial 1ª electricista	h	8	17,82 €/h	142,56
Oficial 1ª montador de estructura metálica	h	8	18,10 €/h	144,8
Ayudante electricista	h	8	16,94 €/h	135,52
Ayudante montador de estructura metálica	h	8	16,10 €/h	128,8
			TOTAL	551,68 €

Tabla 11: Análisis de costes
Fuente: Elaboración propia, 2019.

11.5. Anexo E. Detalle rodamiento SCF 20 ES de SKF.

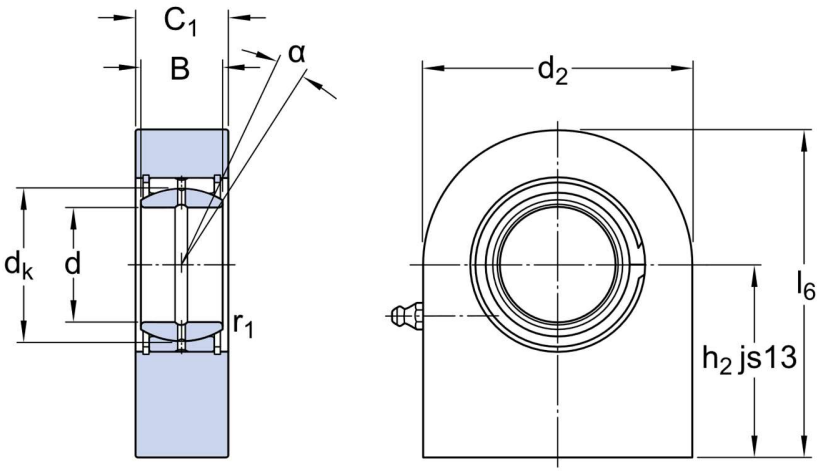


Figura 25: Detalle rodamiento SKF
Fuente: Skf [40], 2019.

d	20 mm
d_2	Max. 51,5 mm
B	16 mm
C_1	20 mm
h_2	Max. 38 mm
α	9°
d_k	29 mm
l_6	Max. 64,5 mm
r_1	Min. 0,3 mm

Tabla 12: Dimensiones rodamiento SKF
Fuente: Skf [40], 2019.

Capacidad de carga dinámica básica	C	30 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	63 kN
Factor de carga dinámica específica	K	100
Constante de material	K_M	N/mm²

Tabla 13: Datos de cálculo rodamiento SKF
Fuente: Skf [40], 2019.

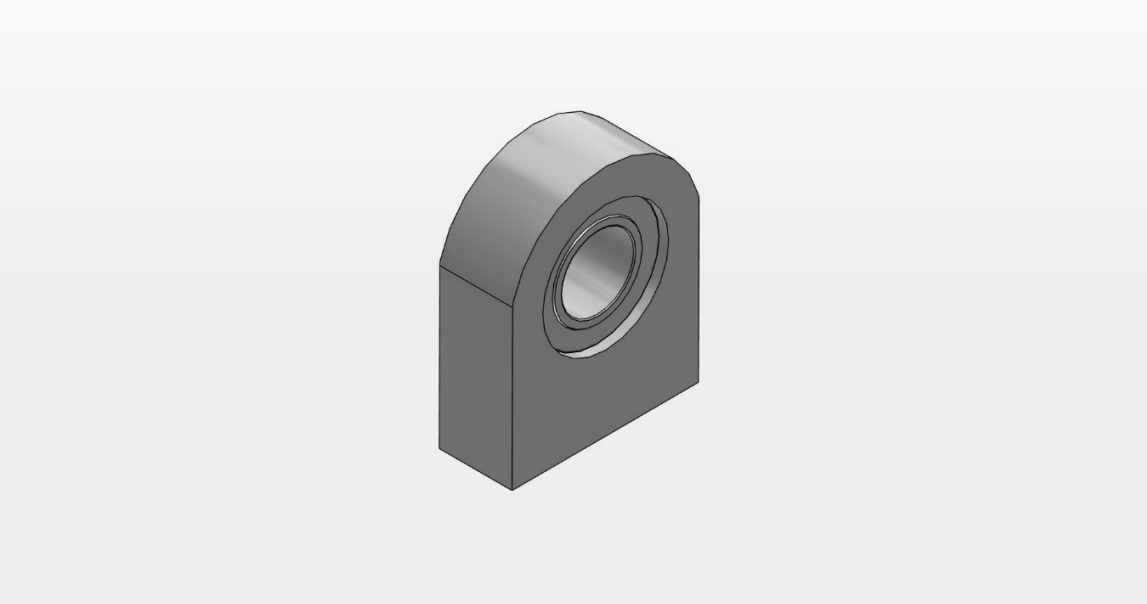


Figura 26: Vista 3D rodamiento SKF
Fuente: Skf [40], 2019.

11.6. Anexo F. Fichas técnicas elementos del sistema

Placa fotovoltaica

X SERIES

SUNPOWER®

SunPower X-Series: X22-360

SunPower® Residential DC Panel

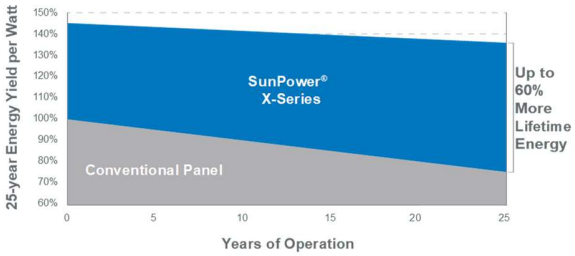
SunPower X-Series panels combine the top efficiency, durability and warranty available in the market today, resulting in more long-term energy and savings.[1,2]

Maximum Power. Minimalist Design.

Industry-leading efficiency means more power and savings per available space. With fewer panels required, less is truly more.

Highest Lifetime Energy and Savings

Designed to deliver 60% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions like partial shade and high temperatures.[2]



Best Reliability, Best Warranty

With more than 25 million panels deployed around the world, SunPower technology is proven to last. That's why we stand behind our panel with the industry's best 25-year Combined Power and Product Warranty, including the highest Power Warranty in solar.

BETTER PRODUCT · BETTER WARRANTY
25-yr SunPower Complete Confidence

Fundamentally Different. And Better.

The SunPower Maxeon™ Solar Cell

- Enables highest efficiency panels available[2]
- Unmatched reliability[3]
- Patented solid metal foundation prevents breakage and corrosion

LEADERSHIP IN ENERGY & ENVIRONMENTAL DESIGN LEED

CERTIFIED cradle to cradle SILVER

As Sustainable As Its Energy

- Ranked #1 in Silicon Valley Toxics Coalition 2015 Solar Scorecard[4]
- First solar panels to achieve Cradle to Cradle Certified™ Silver recognition[5]
- Contributes to more LEED categories than conventional panels[6]

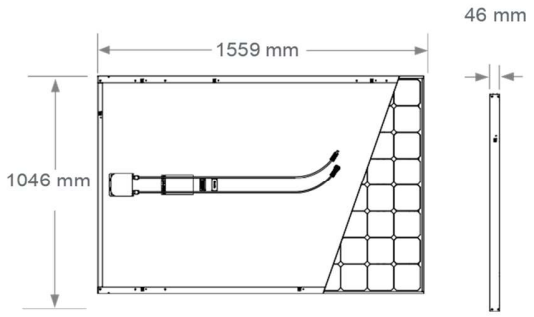
sunpowercorp.co.uk

X-Series: X22-360 SunPower® Residential DC Panel

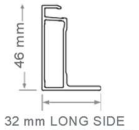
Electrical Data		
	SPR-X22-360	SPR-X21-345
Nominal Power (Pnom) [7]	360 W	345 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.1%	21.2%
Rated Voltage (Vmpp)	59.1 V	57.3 V
Rated Current (Impp)	6.09 A	6.02 A
Open-Circuit Voltage (Voc)	69.5 V	68.2 V
Short-Circuit Current (Isc)	6.48 A	6.39 A
Max. System Voltage	1000 V IEC & 600 V UL	
Maximum Series Fuse	15 A	
Power Temp Coef.	−0.29% / ° C	
Voltage Temp Coef.	−167.4 mV / ° C	
Current Temp Coef.	2.9 mA / ° C	

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	−40° C to +85° C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Appearance	Class A+
Solar Cells	96 Monocrystalline Maxeon Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-65, MC4
Weight	18,6 kg
Max. Load	Wind: 2400 Pa, 244 kg/m² front & back Snow: 5400 Pa, 550 kg/m² front
Frame	Class 1 black anodized (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests [8]	IEC 61215, IEC 61730, UL1703 (Type 2 Fire Rating)
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
EHS Compliance	RoHS, OHSAS 18001:2007, lead free, Recycle Scheme, REACH SVHC-163
Sustainability	Cradle to Cradle Certified™ Silver. "Declare." listed.
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	10.1109/PVSC.2013.6744437
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000V: IEC 62804, PVEL 600 hr duration
Available Listings	TUV, UL, MCS, FSEC, CEC



FRAME PROFILE



Please read the safety and installation guide.

1 SunPower 360 W compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (260 W, 16% efficient, approx. 1.6 m²), 4% more energy per watt (based on PVSyst pan files), 0.75%/yr slower degradation (Campeau, Z. et al. "SunPower Module Degradation Rate," SunPower white paper, 2013).
2 Based on search of datasheet values from websites of top 10 manufacturers per IHS, as of January 2017.
3 #1 rank in "Fraunhofer PV Durability Initiative for Solar Modules: Part 3". PV Tech Power Magazine, 2015. Campeau, Z. et al. "SunPower Module Degradation Rate," SunPower white paper, 2013.
4 SunPower is rated #1 on Silicon Valley Toxics Coalition's Solar Scorecard.
5 Cradle to Cradle Certified is a multi-attribute certification program that assesses products and materials for safety to human and environmental health, design for future use cycles, and sustainable manufacturing.
6 X-Series and E-Series panels additionally contribute to LEED Materials and Resources credit categories.
7 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.
8 Type 2 fire rating per UL1703:2013, Class C fire rating per UL1703:2002.

See www.sunpowercorp.co.uk/company/about-sunpower for more reference information.
For more details, see extended datasheet: www.sunpowercorp.co.uk/sunpower-downloads.
Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

SUNPOWER

08082818718

527767REVA/A4_UK

Regulador de carga

Solar System

PC1500B Series

PWM - Regulador carga solar

Características:

- En intensidades 10A 20A 30A 40A 50A 60A.
- Pantalla LCD de fácil lectura.
- Operación sencilla por botones.
- Detección automatica de voltaje del sistema.
- Algoritmo carga inteligente PWM.
- Protección ajustable carga-descarga.
- Compensación automática por temperatura.
- Selección de tecnología de batería.
- Protección de corriente inversa de bateria.
- Desconexión de batería por bajo voltaje (LVD).
- Protección polaridad invertida en batería.
- Protección por sobre-voltaje.
- Puertos para carga USB en modelos hasta 40A.

Introducción:

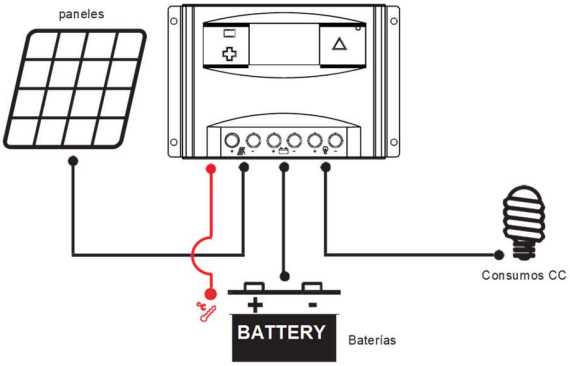
Este regulador solar de carga y descarga inteligente tiene una interfaz sencilla y visual gracias a su pantalla LCD de grandes dimensiones. Muchos parámetros de control se pueden ajustar con gran flexibilidad en función de nuestros requisitos.

LCD Información Display

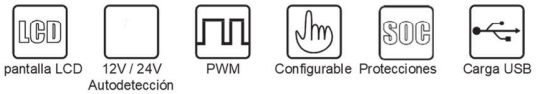
1. Terminal positivo fotovoltaico
   Terminal negativo fotovoltaico
2. Terminal positivo batería
   Terminal negativo batería
3. Terminal carga CC positivo
   Terminal carga CC negativo
4. Pantalla LCD

Nº	Pulsación	Función
5. +	Corta	Siguiente visualización; Incremento mientras está en ajustes
	Larga (≥3 s)	Incremento continuo mientras está en ajustes
6. –	Corta	Visualización previa; Decremento mientras está en ajustes
	Larga (≥3 s)	Decremento continuo mientras está en ajustes
7. ▲	Corta	Interruptor consumos CC; Entrar configuración / guardar
	Larga (≥3 s)	Entrar/salir menú secundario

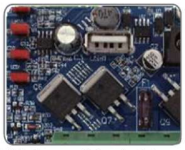
Conexión al sistema solar:

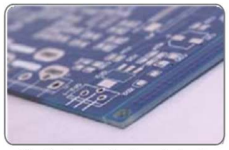


Funciones:



Detalles internos


Estabilidad, gran eficiencia, integración


Diseño de circuitería optimizado


SCM Diseño robusto y fiable


Materiales de gran calidad

PC1500B SERIES Controladores

PWM Solar Charge Controller

Modelos: PC1500B-10 y 20A

optional USB

Voltaje trabajo:12-24V Auto-detección
Corriente carga: 10A y 20A
Puertos USB: 5V, 1A x 2
Tamaño LCD: 2.2"

Modelos: PC1500B-30 y 40A

optional USB

Voltaje trabajo:12-24V Auto-detección
Corriente carga: 30A y 40A
Puertos USB: 5V, 1A x 2
Tamaño LCD: 2.2"

Modelos: PC1500B-50D / 5048D

Voltaje:12-24V Auto-detección y modelo 48V
Corriente carga: 50A
Tamaño LCD: 2.6"

Modelos: PC1500B-60D / 6048D

Voltaje:12-24V Auto-detección y modelo 48V
Corriente carga: 60A
Tamaño LCD: 2.6"

Aplicación

Sistemas portátiles,
embarcaciones & recreo

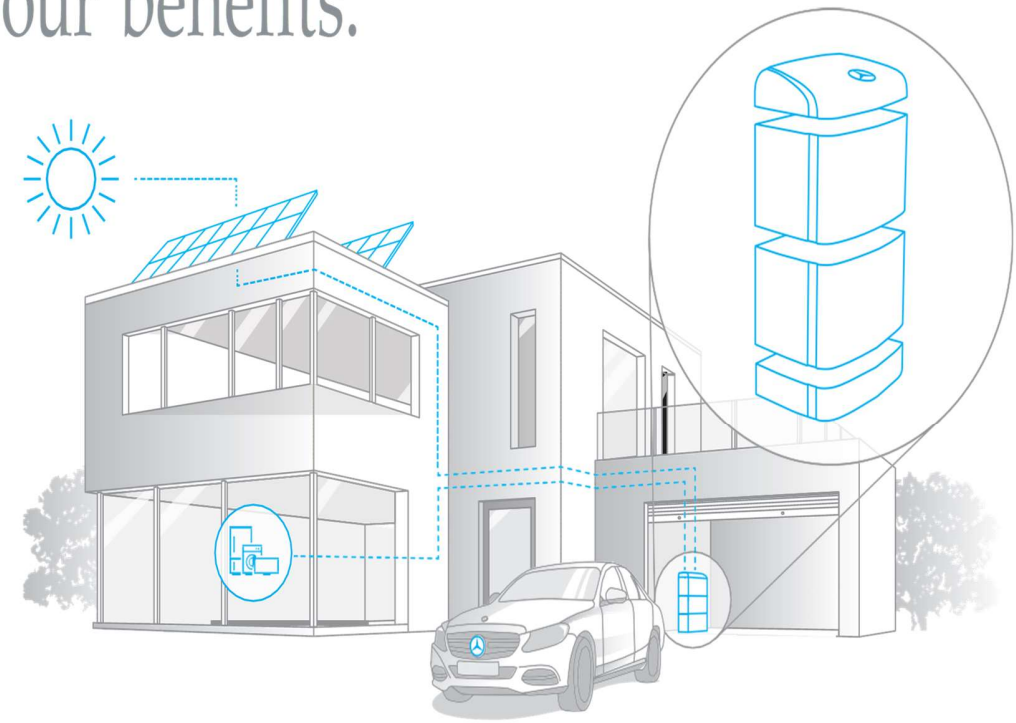
Aislada
sistema solar casero

Granja solar de generación

Modelo			PC1500B-10-20		PC1500B-30-40		PC1500B-50-60		PC1500B-6048D	
Entrada	Voltaje FV		≤50V						≤100V	
	Intensidad nominal		10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
Salida	Voltaje sistema		12/24V Auto						48V	
	Desconexión por alto voltaje		16.00V x 1/ x 2/ x 3/ x 4 (0.5V)							
	Intensidad descarga nominal		10A	20A	30A	40A	50A	60A	50A	60A
	Autoconsumo		≤13mA						≤25mA	
	Caída de tensión circuito carga		≤0.24V						≤0.25V	
	Caída de tensión circuito descarga		≤0.10V						≤0.10V	
	Modo de carga		PWM 4-etapas carga, absorción, flotación, ecualización							
	Voltaje Carga Flotación		13.8V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Voltaje Carga Absorción	2 horas duración	14.4V (13V~15V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Voltaje Carga Ecualización	2 horas duración	14.6V (13V~15.5V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Protección Bajo Voltaje		10.7V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Reconexión Bajo Voltaje		12.6V (10V~14V) x 1/ x 2/ x 3/ x 4							
	Salida USB		5V, 1A x2				No tiene			
Características físicas	Sección cableado		≤6mm²		≤16mm²		≤16mm²		≤16mm²	
	Temperatura trabajo		-20°C~55°C							
	Tamaño (L x W x H)		188 x 95 x 46.5mm			196 x 111 x 54mm				
	Peso neto		355g			407g				

Batería

Ihre Vorteile.
Your benefits.



Unabhängig
Nutzen Sie Ihren selbst produzierten Strom auch in den späten Abendstunden.

Independent
Use your self-produced electricity, even late in the evening.

Innovativ
Profitieren Sie von sicheren Batterien mit modernster Lithium-Ionen-Technologie.

Innovative
Benefit from safe batteries with state-of-the-art lithium-ion technology.

Effizient
Mit einem Systemwirkungsgrad von 97 % nutzen Sie maximale Power.

Efficient
System efficiency of 97 % means you can use maximum power.

Nennkapazität in kWh/Rated capacity in kWh	6,0	9,0	12,0	12,0	15,0	18,0	21,0	24,0
Allgemeine Daten/General information								
Maße Standmontage (B/H/T) in cm Stand-mounted dimensions (W/H/D) in inches	47/67/29 18.5/26.4/11.4	47/92/29 18.5/36.2/11.4	47/117/29 18.5/46.1/11.4	144/67/29 56.7/46.1/11.4	144/92/29 56.7/36.2/11.4	144/92/29 56.7/ 36.2/11.4	144/117/29 56.7/46.1/11.4	144/117/29 56.7/46.1/11.4
Maße Wandmontage (B/H/T) in cm Wall-mounted dimensions (W/H/D) in inches	47/68/29 18.5/26.8/11.4	47/93/29 18.5/36.6/11.4	47/118/29 18.5/46.5/11.4	144/68/29 56.7/46.5/11.4	144/93/29 56.7/36.6/11.4	144/93/29 56.7/ 36.6/11.4	144/118/29 56.7/46.5/11.4	144/118/29 56.7/46.5/11.4
Gewicht Standmontage, inkl. Zubehör (32 kg schwerste Handlingsgruppe) Stand-mounted weight, incl. accessories (32 kg/70.5 lbs heaviest component)	ca. 69 kg app. 152.1 lbs	ca. 101 kg app. 222.7 lbs	ca. 133 kg app. 293.2 lbs	ca. 138 kg app. 293.2 lbs	ca. 170 kg app. 374.8 lbs	ca. 202 kg app. 445.3 lbs	ca. 234 kg app. 515.9 lbs	ca. 266 kg app. 586.4 lbs
Gewicht Wandmontage, inkl. Zubehör (32 kg schwerste Handlingsgruppe) Wall-mounted weight, incl. accessories (32 kg/70.5 lbs heaviest component)	ca. 67 kg app. 147.7 lbs	ca. 99 kg app. 218.2 lbs	ca. 131 kg app. 288.8 lbs	ca. 134 kg app. 288.8 lbs	ca. 166 kg app. 365.9 lbs	ca. 198 kg app. 436.5 lbs	ca. 230 kg app. 507.1 lbs	ca. 262 kg app. 577.6 lbs
Batteriedaten/Battery data								
Anzahl der Energiespeichermodule Number of energy storage modules	2	3	4	4	5	6	7	8
Nutzbarer Energiegehalt Usable energy content	5,6 kWh	8,4 kWh	11,2 kWh	11,2 kWh	14,0 kWh	16,8 kWh	19,6 kWh	22,4 kWh
Dauerstrom Batterie in A [25 ºC] Continuous battery current in A [25 ºC]	75,0	112,5	125,0	150,0	187,5	225,0	218,7	250,0
Spitzenstrom Batterie in A (für max. 10 s) [25 ºC] Peak battery current in A (for max. 10 s) [25 ºC]	80,0	120,0	160,0	160,0	200,0	240,0	280,0	320,0
Nennleistung Batterie in kW [25 ºC, 50 V] Rated battery output in kW [25 ºC, 50 V]	3,7	5,6	6,2	7,5	9,3	11,2	10,9	12,5
Nennspitzenleistung Batterie in kW (für max. 10 s) [25 ºC, 50 V] Peak battery output in kW (for max. 10 s) [25 ºC, 50 V]	4,0	6,0	8,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
Freigegebene Systemkonfiguration - SMA Sunny Island */ Approved System Configuration - SMA Sunny Island *								
1-ph Eigenverbrauchsoptimierung 1-ph self consumption	SI 4.4M	SI 4.4M	SI 4.4M	SI 4.4M	SI 4.4M	SI 4.4M SI 6.0H SI 8.0H	SI 4.4M SI 6.0H SI 8.0H	SI 4.4M SI 6.0H SI 8.0H
Normen/Standards								

2006/66/EG (BattG), 2011/65/EU (RoHS), EMV-Richtlinie (EMC) 2014/30/EU, Sicherheitsleitfaden; 2014 – Li-Ionen-Hausspeicher (von BSW, BVES, DGS, StoREgio und ZVEH), ProdHaftG, ProdSG, harmonisierte Normen sowie gültige Transport- und Verpackungsvorschriften.

2006/66/EG (BattG), 2011/65/EU (RoHS), EMC Directive 2014/30/EU, Security Guide 2014 – Li-ion domestic storage (from BSW, BVES, DGS, StoREgio and ZVEH), ProdHaftG, ProdSG, harmonised standards and valid transport and packaging regulations.

*Weitere Konfigurationen sind möglich. Leistungsbegrenzung des Wechselrichter-Batteriesystems je nach Belastung und PV-Leistung.

*Other configurations are also possible. Power limitation of the inverter-battery-system depending on load and PV output.

Inversor

victron energy
BLUE POWER

Inversores Phoenix

1200VA - 5000VA (por módulo)

www.victronenergy.com

Phoenix Inverter
24/5000

SinusMax - Diseño superior

Desarrollado para uso profesional, la gama de inversores Phoenix es ideal para innumerables aplicaciones. El criterio utilizado en su diseño fue el de producir un verdadero inversor sinusoidal con una eficiencia optimizada pero sin comprometer su rendimiento. Al utilizar tecnología híbrida de alta frecuencia, obtenemos como resultado un producto de la máxima calidad, de dimensiones compactas, ligero y capaz de suministrar potencia, sin problemas, a cualquier carga.

Potencia de arranque adicional

Una de las características singulares de la tecnología SinusMax consiste en su muy alta potencia de arranque. La tecnología de alta frecuencia convencional no ofrece un rendimiento tan extraordinario. Los inversores Phoenix, sin embargo, están bien dotados para alimentar cargas difíciles, como frigoríficos, compresores, motores eléctricos y aparatos similares.

Potencia prácticamente ilimitada gracias al funcionamiento en paralelo y trifásico.

Hasta 6 unidades del inversor pueden funcionar en paralelo para alcanzar una mayor potencia de salida. Seis unidades 24/5000, por ejemplo, proporcionarán 24 kW / 30 kVA de potencia de salida. También es posible su configuración para funcionamiento trifásico.

Transferencia de la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Si se requiere un conmutador de transferencia automático, recomendamos usar el inversor/cargador MultiPlus en vez de este. El conmutador está incluido es este producto y la función de cargador del MultiPlus puede deshabilitarse. Los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción, ya que el MultiPlus dispone de un tiempo de conmutación muy corto (menos de 20 milisegundos).

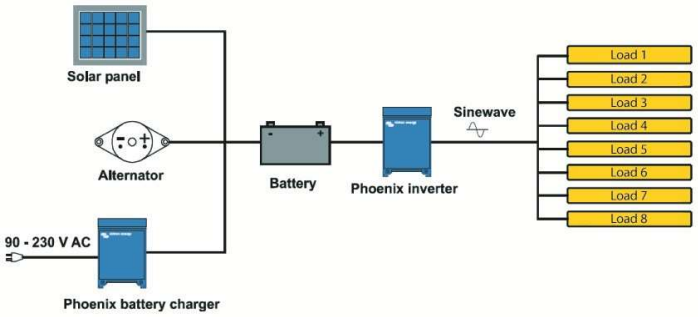
Phoenix Inverter Compact
24/1600

Interfaz para el ordenador

Todos los modelos disponen de un Puerto RS-485. Todo lo que necesita conectar a su PC es nuestro interfaz MK2 (ver el apartado "Accesorios"). Este interfaz se encarga del aislamiento galvánico entre el inversor y el ordenador, y convierte la toma RS-485 en RS-232. También hay disponible un cable de conversión RS-232 en USB. Junto con nuestro software VEConfigure, que puede descargarse gratuitamente desde nuestro sitio Web www.victronenergy.com, se pueden personalizar todos los parámetros de los inversores. Esto incluye la tensión y la frecuencia de salida, los ajustes de sobretensión o subtensión y la programación del relé. Este relé puede, por ejemplo, utilizarse para señalar varias condiciones de alarma distintas, o para arrancar un generador. Los inversores también pueden conectarse a VENet, la nueva red de control de potencia de Victron Energy, o a otros sistemas de seguimiento y control informáticos.

Nuevas aplicaciones para inversores de alta potencia

Las posibilidades que ofrecen los inversores de alta potencia conectados en paralelo son realmente asombrosas. Para obtener ideas, ejemplos y cálculos de capacidad de baterías, le rogamos consulte nuestro libro "Electricity on board" (electricidad a bordo), disponible gratuitamente en Victron Energy y descargable desde www.victronenergy.com.



Victron Energy B.V. | De Paal 35 | 1351 JG Almere | The Netherlands
General phone: +31 (0)36 535 97 00 | Fax: +31 (0)36 535 97 40
E-mail: sales@victronenergy.com | www.victronenergy.com

victron energy
BLUE POWER

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V	19 – 33V	38 – 66V		
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25 ºC (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25 ºC (W)	1000	1300	1600	2500	4500
Potencia cont. de salida 40 ºC (W)	900	1200	1450	2200	4000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 /48 V (%)	92 / 94	92 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10	8 / 10	9 / 11	15 / 15 / 16	25 / 25
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8	5 / 8	7 / 9	10 / 10 / 12	20 / 20
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3	2 / 3	3 / 4	4 / 5 / 5	5 / 6
GENERAL					
Relé programable (3)	Sí				
Protección (4)	a - g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -20 a +50°C (refrigerado por ventilador) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP 21				
Conexiones de la batería	cables de batería de 1,5 metros se incluye		Pernos M8	2+2 Pernos M8	
Conexiones 230 V CA	Enchufe G-ST18i		Abrazadera-resorte	Bornes atornillados	
Peso (kg)	10		12	18	30
Dimensiones (al x an x p en mm.)	375x214x110		520x255x125	362x258x218	444x328x240
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Directiva de automoción	2004/104/EC	2004/104/EC		2004/104/EC	

1) Puede ajustarse a 60 Hz, y a 240 V.
2) Carga no lineal, factor de cresta 3:1
3) Relé programable que puede configurarse en alarma general, subtensión de CD o como señal de arranque de un generador (es necesario el interfaz MK2 y el software VEConfigure)
Capacidad nominal CA 230V / 4A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35VDC, 1 A hasta 60VDC

4) Protección:
a) Cortocircuito de salida
b) Sobrecarga
c) Tensión de la batería demasiado alta
d) Tensión de la batería demasiado baja
e) Temperatura demasiado alta
f) 230 V CA en la salida del inversor
g) Ondulación de la tensión de entrada demasiado alta

11.7.ANEXO G. CÁLCULOS CYPE

Tabla de medición. Estructura en horizontal

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero conformado	S235	N5/N9	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	0.100	0.000	1.42
		N3/N4	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	0.750	0.001	10.64
		N1/N2	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	1.500	0.003	21.29
		N15/N21	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	0.100	0.000	1.42
		N14/N20	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	0.750	0.001	10.64
		N13/N19	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	1.500	0.003	21.29
		N12/N16	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	0.100	0.000	1.42
		N11/N17	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	0.750	0.001	10.64
		N10/N18	2xUF-100x5([]) (Conformados U)	1.500	0.003	21.29
Aluminio extruido	EN AW-5083	N8/N4	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N4/N7	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N2/N6	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N27/N20	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N20/N26	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N19/N25	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N22/N17	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N17/N23	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N18/N24	BC-70 ((ER/B) BC)	0.550	0.003	7.28
		N8/N22	BC-70 ((ER/B) BC)	2.150	0.011	28.44
		N22/N27	BC-70 ((ER/B) BC)	2.150	0.011	28.44
		N7/N23	BC-70 ((ER/B) BC)	2.150	0.011	28.44
		N23/N26	BC-70 ((ER/B) BC)	2.150	0.011	28.44
		N6/N24	BC-70 ((ER/B) BC)	2.150	0.011	28.44
		N24/N25	BC-70 ((ER/B) BC)	2.150	0.011	28.44
		N30/N28	BC-35 ((ER/B) BC)	1.060	0.001	3.51
		N31/N29	BC-35 ((ER/B) BC)	1.060	0.001	3.51
		N39/N38	BC-35 ((ER/B) BC)	1.060	0.001	3.51
		N25/N37	BC-70 ((ER/B) BC)	0.530	0.003	7.01
		N36/N35	BC-35 ((ER/B) BC)	1.060	0.001	3.51
		N6/N34	BC-70 ((ER/B) BC)	0.530	0.003	7.01
		N46/N27	BC-70 ((ER/B) BC)	0.530	0.003	7.01
		N26/N47	BC-70 ((ER/B) BC)	0.530	0.003	7.01
		N43/N8	BC-70 ((ER/B) BC)	0.530	0.003	7.01

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
		N7/N42	BC-70 ((ER/B) BC)	0.530	0.003	7.01
		N79/N9	BC-80 ((ER/B) BC)	0.675	0.004	11.66
		N78/N16	BC-80 ((ER/B) BC)	0.675	0.004	11.66
		N81/N21	BC-80 ((ER/B) BC)	0.675	0.004	11.66
		N50/N48	BC-40 ((ER/B) BC)	2.160	0.003	9.33
		N51/N49	BC-40 ((ER/B) BC)	2.160	0.003	9.33
		N52/N53	BC-40 ((ER/B) BC)	2.160	0.003	9.33
		N45/N44	BC-40 ((ER/B) BC)	2.160	0.003	9.33
		N73/N72	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N71/N70	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N68/N69	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N67/N66	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N63/N62	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N65/N64	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N75/N74	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N77/N76	BC-40 ((ER/B) BC)	1.350	0.002	5.83
		N92/N80	BC-80 ((ER/B) BC)	4.440	0.028	76.72

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final

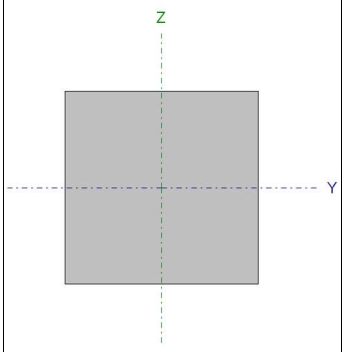
Medición de superficies:

Acero conformado: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
Conformados U	UF-100x5, Doble en cajón soldado	0.377	7.050	2.659
			Total	**2.659**

Aluminio extruido: Medición de las superficies a pintar				
Serie	Perfil	Superficie unitaria (m²/m)	Longitud (m)	Superficie (m²)
(ER/B) BC	BC-70	0.280	21.030	5.888
	BC-35	0.140	4.240	0.594
	BC-80	0.320	6.465	2.069
	BC-40	0.160	19.440	3.110
			Total	**11.661**

Barra más desfavorable estructura horizontal. Barra N78/N16.

Perfil: BC-80
Material: Aluminio (EN AW-5083)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N78	N16	0.675	64.00	341.33	341.33	573.44

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	0.675	0.675	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Resistencia a tracción (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.4 - 6.3.1)

Se debe satisfacer:

$\eta = N_{Ed}/N_{c,Rd} \leq 1$ $\eta_1 <$ ***0.001*** ✓

$\eta = N_{Ed}/N_{b,Rd} \leq 1$ $\eta_2 <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones PP+PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

N_{Ed}: es el axil de compresión solicitante de cálculo. **N_{Ed}** : *0.001* t
$N_{c,Rd}$: es la resistencia de cálculo a compresión. **$N_{c,Rd}$** : *65.240* t
$N_{b,Rd}$: es la resistencia de cálculo a pandeo. **$N_{b,Rd}$** : *57.525* t

Clase: la clasificación de la sección transversal depende de las dimensiones de sus elementos comprimidos, dado el esfuerzo axil, para la combinación de acciones considerada.

Clase : *1*

$N_{c,Rd}$: es la resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{c,Rd} = A_{eff} \cdot f_o \cdot / \gamma_{M1}$$

$N_{c,Rd}$: *65.240* t

Donde:

A_{eff}: es el área eficaz de la sección, incluyendo el descuento por reblandecimiento HAZ y por pandeo local, pero sin reducción por agujeros. **A_{eff}** : *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

$N_{b,Rd}$: es la resistencia de cálculo a pandeo. **$N_{b,Rd}$** : *57.525* t

La resistencia de cálculo a pandeo a considerar será la menor de las siguientes:

$N_{b,Rd,y}$: es la resistencia de cálculo a pandeo correspondiente a la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$N_{b,Rd,z}$: es la resistencia de cálculo a pandeo correspondiente a la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$N_{b,Rd,T}$: es la resistencia de cálculo a pandeo correspondiente a la carga crítica de pandeo por torsión.

$$N_{b,Rd} = \kappa \cdot \chi \cdot A_{eff} \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

$N_{b,Rd,y}$: *57.525* t
$N_{b,Rd,z}$: *57.525* t
$N_{b,Rd,T}$: *65.240* t

Donde:

χ: es el coeficiente de reducción por pandeo.
χ_y : *0.88*
χ_z : *0.88*
χ_T : *1.00*

κ: es el coeficiente que tiene en cuenta el debilitamiento por soldadura.
κ_y : *1.00*
κ_z : *1.00*
κ_T : *1.00*

A_{eff}: es el área eficaz de la sección.
$A_{eff,y}$: *64.00* cm²
$A_{eff,z}$: *64.00* cm²
$A_{eff,T}$: *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

χ: es el coeficiente de reducción por pandeo.

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

χ_y :	0.88
χ_z :	0.88
χ_T :	1.00

Donde:

Φ: es un factor relativo al cálculo del coeficiente de reducción por pandeo.

Φ_y :	0.63
Φ_z :	0.63
Φ_T :	0.43

$\bar{\lambda}$: es la esbeltez relativa.

$\bar{\lambda}_y$:	0.37
$\bar{\lambda}_z$:	0.37
$\bar{\lambda}_T$:	0.00

Φ: es un factor relativo al cálculo del coeficiente de reducción por pandeo.

$$\phi = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0\right) + \bar{\lambda}^2\right]$$

Φ_y :	0.63
Φ_z :	0.63
Φ_T :	0.43

Donde:

α: es un coeficiente de imperfección.

α_y :	0.32
α_z :	0.32
α_T :	0.35

$\bar{\lambda}_0$: es el limite de la meseta horizontal en la curva de pandeo correspondiente.

$\bar{\lambda}_{0,y}$:	0.00
$\bar{\lambda}_{0,z}$:	0.00
$\bar{\lambda}_{0,T}$:	0.40

$\bar{\lambda}$: es la esbeltez relativa.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{N_{cr}}}$$

$\bar{\lambda}_y$:	0.37
$\bar{\lambda}_z$:	0.37
$\bar{\lambda}_T$:	0.00

Donde:

A_{eff}: es el área eficaz de la sección.

$A_{eff,y}$:	64.00	cm²
$A_{eff,z}$:	64.00	cm²
$A_{eff,T}$:	64.00	cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación.

f_o :	1121.30	kp/cm²

N_{cr}: es la carga crítica elástica de pandeo determinada a partir de las características mecánicas de la sección transversal bruta.

$N_{cr,y}$:	527.594	t
$N_{cr,z}$:	527.594	t
$N_{cr,T}$:	∞	

A_{eff}: es el área eficaz de la sección.

$A_{eff,y}$ y $A_{eff,z}$: es el valor de A_{eff} para pandeo por flexión. En la determinación de A_{eff} se debe tener en cuenta el descuento por pandeo local.

$A_{eff,y}$:	64.00	cm²
$A_{eff,z}$:	64.00	cm²

$A_{eff,T}$: es el valor de A_{eff} para pandeo por torsión de secciones transversales de tipo 'general'. En la determinación de A_{eff} se debe tener en cuenta el descuento por reblandecimiento HAZ y por pandeo local.

$A_{eff,T}$:	64.00	cm²

$N_{cr,y}$: es la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{k_y^2 L^2}$$

$N_{cr,y}$:	*527.594*	t

Donde:

E: es el módulo de elasticidad longitudinal.	**E** :	*713557.59*	kp/cm²
I_y: es el momento de inercia de la sección bruta respecto al eje principal de inercia 'y'.	**I_y** :	*341.33*	cm4
k_y: es el coeficiente que define la longitud de pandeo por flexión en el plano 'xz'.	**k_y** :	*1.00*	
L: es la longitud del elemento.	**L** :	*0.675*	m

$N_{cr,z}$: es la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{k_z^2 L^2}$$

$N_{cr,z}$:	*527.594*	t

Donde:

E: es el módulo de elasticidad longitudinal.	**E** :	*713557.59*	kp/cm²
I_z: es el momento de inercia de la sección bruta respecto al eje principal de inercia 'z'.	**I_z** :	*341.33*	cm4
k_z: es el coeficiente que define la longitud de pandeo por flexión en el plano 'xy'.	**k_z** :	*1.00*	
L: es la longitud del elemento.	**L** :	*0.675*	m

$N_{cr,T}$: es la carga crítica de pandeo por torsión.

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \cdot \left[G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{k_w^2 \cdot L^2} \right]$$

$N_{cr,T}$:	∞	

Donde:

i_s: es el radio de giro polar de la sección bruta respecto al centro de esfuerzos cortantes.	**i_s** :	*3.27*	cm
G: es el módulo de elasticidad transversal.	**G** :	*275229.36*	kp/cm²
I_t: es el módulo de torsión de la sección bruta.	**I_t** :	*573.44*	cm4
E: es el módulo de elasticidad longitudinal.	**E** :	*713557.59*	kp/cm²
I_w: es el módulo de alabeo de la sección bruta.	**I_w** :	*7281.78*	cm6
k_w: es el coeficiente que define la longitud de pandeo por torsión. Se estima como el mayor de los coeficientes que definen las longitudes de pandeo lateral con torsión.	**k_w** :	*0.00*	
L: es la longitud del elemento.	**L** :	*0.675*	m

i_s: es el radio de giro polar de la sección bruta respecto al centro de esfuerzos cortantes.

$$i_s = \sqrt{i_y^2 + i_z^2}$$

i_s :	*3.27*	cm

Donde:

i_y: es el radio de giro de la sección bruta respecto al eje principal de inercia 'y'. i_y : 2.31 cm

i_z: es el radio de giro de la sección bruta respecto al eje principal de inercia 'z'. i_z : 2.31 cm

κ: es el coeficiente que tiene en cuenta el debilitamiento por soldadura. κ = 1 para elementos sin soldaduras.

κ_y : 1.00
κ_z : 1.00
κ_T : 1.00

Resistencia a flexión en el eje Y (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.5 - 6.3.2)

Se debe satisfacer:

$$\eta = M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$$

η : **0.983** ✓

Flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

M_{Ed}: es el momento flector solicitante de cálculo.

M_{Ed}^+ : 0.000 t·m
M_{Ed}^- : 1.283 t·m

$M_{c,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión uniaxial. $M_{c,Rd}$: 1.305 t·m

Clase: la clasificación de la sección transversal depende de las dimensiones de sus elementos comprimidos, dado el momento flector, para la combinación de acciones considerada. **Clase** : 1

$M_{c,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión uniaxial.

$$M_{c,Rd} = \alpha \cdot W_{el} \cdot f_o/\gamma_{M1}$$

$M_{c,Rd}$: 1.305 t·m

Donde:

α: es el factor de forma. α : 1.500

W_{el}: es el módulo elástico de la sección bruta. W_{el} : 85.33 cm³

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. f_o : 1121.30 kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.10

α: es el factor de forma.

$$\alpha = W_{pl}/W_{el}$$

α : 1.500

Donde:

W_{pl}: es el módulo plástico de la sección bruta. **W_{pl}** : *128.00* cm³

W_{el}: es el módulo elástico de la sección bruta. **W_{el}** : *85.33* cm³

Resistencia a flexión en el eje Z (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.5 - 6.3.2)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a cortante en el eje Y (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.6 - 6.5.5)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a cortante en el eje Z (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.6 - 6.5.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$$

η : ***0.068*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

V_{Ed}: es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo. **V_{Ed}** : *2.056* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante de la sección transversal. **V_{Rd}** : *30.133* t

La obtención de la resistencia de cálculo a cortante de la sección transversal se realiza suponiendo una distribución de tensiones tangenciales uniforme sobre cada elemento plano de pared delgada que la compone, de tal forma que no se sobrepasa en ninguno de ellos la tensión de plastificación y se equilibra el esfuerzo cortante solicitante de cálculo. En su cálculo se considera tanto el pandeo local por cortante como la presencia de zonas HAZ.

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante de la sección transversal.

$$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_o}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

V_{Rd} : *30.133* t

Donde:

A_v: es el área de cortante. **A_v** : *51.20* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

A_v: es el área de cortante.

$A_v = 0.8 \cdot h \cdot b$ **A_v** : *51.20* cm²

Donde:

h: es el canto de la barra rectangular maciza. **h** : *80.00* mm

b: es el ancho de la barra rectangular maciza. **b** : *80.00* mm

<u>Resistencia a torsión</u> (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.7.1)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

<u>Resistencia a flexión en el eje Y y a cortante en el eje Z combinados</u> (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.8)

La comprobación no procede por coincidir con la de elementos a flexión, positiva o negativa dependiendo del signo del momento flector de cálculo, en el eje 'y', puesto que el efecto del esfuerzo cortante en el eje 'z' es despreciable para el cálculo del momento flector resistente.

No es necesario considerar el efecto del cortante en la dirección del eje 'z' para el cálculo de la resistencia a flexión, ya que se satisface la siguiente desigualdad:

$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 0.5$ **0.07** ≤ **0.50** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

V_{Ed}: es el cortante solicitante de cálculo. **V_{Ed}** : *2.040* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. **V_{Rd}** : *30.133* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. Su valor coincide con el obtenido en la comprobación de elementos a cortante en el eje 'z'. **V_{Rd}** : *30.133* t

<u>Resistencia a flexión en el eje Z y a cortante en el eje Y combinados</u> (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión y cortante en el eje Y combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.7.3)

No hay interacción entre torsión y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión y cortante en el eje Z combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.7.3)

No hay interacción entre torsión y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a axil y flexión biaxial combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.9 - 6.3.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{1.7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{1.7}\right]^{0.6} \leq 1$$

η : ***0.983*** ✓

$$\eta = \left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}}\right)^{\eta_{zc}} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{\xi_{zc}} \leq 1$$

$\eta <$ ***0.001*** ✓

$$\eta = \left(\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rd}}\right)^{\eta_{yc}} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{\xi_{yc}} \leq 1$$

η : ***0.977*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N16, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

N_{Ed}: es el axil de compresión solicitante de cálculo.	N_{Ed} :	*0.001*	t
$M_{y,Ed}$: es el momento flector solicitante de cálculo alrededor del eje principal de inercia 'y'.	$M_{y,Ed}$:	*1.283*	t·m
$M_{z,Ed}$: es el momento flector solicitante de cálculo alrededor del eje principal de inercia 'z'.	$M_{z,Ed}$:	*0.000*	t·m
N_{Rd}: es la resistencia de cálculo a compresión.	N_{Rd} :	*65.240*	t
$M_{y,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'.	$M_{y,Rd}$:	*1.305*	t·m
$M_{z,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'.	$M_{z,Rd}$:	*1.305*	t·m
χ_z: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'.	χ_z :	*0.88*	

χ_y: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'. χ_y : *0.88*

η_{zc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'. η_{zc} : *1.76*

η_{yc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'. η_{yc} : *1.76*

ξ_{zc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'. ξ_{zc} : *1.38*

ξ_{yc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'. ξ_{yc} : *1.38*

N_{Rd}: es la resistencia de cálculo a compresión.

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

N_{Rd} : *65.240* t

Donde:

A_{eff}: es el área eficaz de la sección, incluyendo el descuento por reblandecimiento HAZ y por pandeo local, pero sin reducción por agujeros. **A_{eff}** : *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

$M_{y,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'.

$$M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{y,el} \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

$M_{y,Rd}$: *1.305* t·m

Donde:

α_y: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **α_y** : *1.500*

$W_{y,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **$W_{y,el}$** : *85.33* cm³

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

α_y: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'.

$$\alpha_y = W_{y,pl} / W_{y,el}$$

α_y : *1.500*

Donde:

$W_{y,pl}$: es el módulo plástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **$W_{y,pl}$** : *128.00* cm³

$W_{y,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **$W_{y,el}$** : *85.33* cm³

$M_{z,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'.

$$M_{z,Rd} = \alpha_z \cdot W_{z,el} \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

$M_{z,Rd}$: *1.305* t·m

Donde:

α_z: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. **α_z** : *1.500*

$W_{z,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. **$W_{z,el}$** : *85.33* cm³

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

α_z: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'.

$$\alpha_z = W_{z,pl} / W_{z,el}$$

α_z : *1.500*

Donde:

$W_{z,pl}$: es el módulo plástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. **$W_{z,pl}$** : *128.00* cm³

$W_{z,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. **$W_{z,el}$** : *85.33* cm³

χ_z: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} \leq 1$$

χ_z : *0.88*

Donde:

Φ_z: es un factor relativo al cálculo del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'. **Φ_z** : *0.63*

$\bar{\lambda}_z$: es la esbeltez relativa para pandeo por flexión en el plano 'xy'. **$\bar{\lambda}_z$** : *0.37*

Φ_z: es un factor relativo al cálculo del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$$\phi_z = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\bar{\lambda}_z - \bar{\lambda}_0\right) + \bar{\lambda}_z^{\,2}\right]$$ **Φz** : *0.63*

Donde:

α: es un coeficiente de imperfección para pandeo por flexión. **α** : *0.32*

$\bar{\lambda}_0$: es el límite de la meseta horizontal en la curva para pandeo por flexión. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_z$: es la esbeltez relativa para pandeo por flexión en el plano 'xy'. **$\bar{\lambda}_z$** : *0.37*

$\bar{\lambda}_z$: es la esbeltez relativa para pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{N_{cr,z}}}$$ **$\bar{\lambda}_z$** : *0.37*

Donde:

A_{eff}: es el área eficaz de la sección para pandeo por flexión. En su determinación se debe tener en cuenta el descuento por pandeo local. **A_{eff}** : *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

$N_{cr,z}$: es la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xy'. **$N_{cr,z}$** : *527.594* t

$N_{cr,z}$: es la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xy'. Su valor coincide con el obtenido en la comprobación de elementos a compresión para la variable **$N_{cr,z}$**. **$N_{cr,z}$** : *527.594* t

χy: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^{\,2} - \bar{\lambda}_y^{\,2}}} \leq 1$$ **χy** : *0.88*

Donde:

Φy: es un factor relativo al cálculo del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'. **Φy** : *0.63*

$\bar{\lambda}_y$: es la esbeltez relativa para pandeo por flexión en el plano 'xz'. **$\bar{\lambda}_y$** : *0.37*

Φy: es un factor relativo al cálculo del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$$\phi_y = 0.5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot \left(\bar{\lambda}_y - \bar{\lambda}_0\right) + \bar{\lambda}_y^{\,2}\right]$$ **Φy** : *0.63*

Donde:

α: es un coeficiente de imperfección para pandeo por flexión. **α** : *0.32*

$\bar{\lambda}_0$: es el límite de la meseta horizontal en la curva para pandeo por flexión. **$\bar{\lambda}_0$** : *0.00*

$\bar{\lambda}_y$: es la esbeltez relativa para pandeo por flexión en el plano 'xz'. $\bar{\lambda}_y$: *0.37*

$\bar{\lambda}_y$: es la esbeltez relativa para pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{N_{cr,y}}}$$

$\bar{\lambda}_y$: *0.37*

Donde:

A_{eff}: es el área eficaz de la sección para pandeo por flexión. En su determinación se debe tener en cuenta el descuento por pandeo local. **A_{eff}** : *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

$N_{cr,y}$: es la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xz'. **$N_{cr,y}$** : *527.594* t

$N_{cr,y}$: es la carga crítica de pandeo por flexión en el plano 'xz'. Su valor coincide con el obtenido en la comprobación de elementos a compresión para la variable **$N_{cr,y}$**. **$N_{cr,y}$** : *527.594* t

η_{zc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$$\eta_{zc} = 2 \cdot \chi_z \geq 0.8$$

η_{zc} : *1.76*

Donde:

χ_z: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'. **χ_z** : *0.88*

η_{yc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$$\eta_{yc} = 2 \cdot \chi_y \geq 0.8$$

η_{yc} : *1.76*

Donde:

χ_y: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'. **χ_y** : *0.88*

ξ_{zc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'.

$$\xi_{zc} = 1.56 \cdot \chi_z \geq 0.8$$

ξ_{zc} : *1.38*

Donde:

χ_z: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xy'. **χ_z** : *0.88*

ξ_{yc}: es un exponente calculado en función del coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'.

$\xi_{yc} = 1.56 \cdot \chi_y \geq 0.8$ ξ_{yc} : *1.38*

Donde:

χ_y: es el coeficiente de reducción para pandeo por flexión en el plano 'xz'. χ_y : *0.88*

Resistencia a torsión, cortante, axil y flexión biaxial combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.9 - 6.2.10 - 6.3.3)

La comprobación no procede, por coincidir con la de elementos a flexión biaxial y esfuerzo axil, puesto que el efecto del cortante es despreciable en el cálculo del axil y de los momentos flectores resistentes.

Se considera despreciable el efecto del cortante en el cálculo del axil y de los momentos flectores resistentes, ya que se satisface la siguiente desigualdad:

$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 0.5$ **0.07** ≤ **0.50** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

V_{Ed}: es el cortante solicitante de cálculo. **V_{Ed}** : *2.040* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. **V_{Rd}** : *30.133* t

V_{Ed}: es el cortante solicitante de cálculo.

$V_{Ed} = \sqrt{V_{z,Ed}^2 + V_{y,Ed}^2}$ **V_{Ed}** : *2.040* t

Donde:

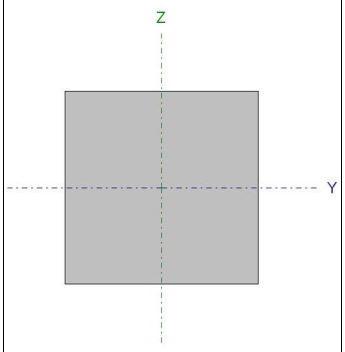
$V_{z,Ed}$: es el cortante solicitante de cálculo en el eje 'z'. **$V_{z,Ed}$** : *2.040* t

$V_{y,Ed}$: es el cortante solicitante de cálculo en el eje 'y'. **$V_{y,Ed}$** : *0.000* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. su valor coincide con el obtenido para la comprobación de elementos a cortante en el eje 'z' y de elementos a cortante en el eje 'y' para la variable V_{Rd}. **V_{Rd}** : *30.133* t

Barra más desfavorable estructura 45°. Barra N54/N13.

Perfil: BC-80
Material: Aluminio (EN AW-5083)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N54	N13	0.675	64.00	341.33	341.33	573.44

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	1.00	1.00	0.00	0.00
L_K	0.675	0.675	0.000	0.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Resistencia a tracción (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

η : ***0.009*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+0.9·V_MAX+1.5·N_MAX.

Donde:

N_{Ed}: es el axil de tracción solicitante de cálculo. — N_{Ed} : *0.568* t

$N_{t,Rd}$: es la resistencia a tracción de cálculo de la sección transversal. Tomando el valor correspondiente a la fluencia general a lo largo del elemento $N_{o,Rd}$, ignorando las conexiones de extremo, los agujeros localizados y las zonas HAZ localizadas. — $N_{t,Rd}$: *65.240* t

$$N_{o,Rd} = A_g \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

$N_{o,Rd}$: *65.240* t

Donde:

A_g: es el área de la sección bruta, al no existir reblandecimiento HAZ debido a soldaduras longitudinales. — A_g : *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. — f_o : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.10*

Resistencia a compresión (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.4 - 6.3.1)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.

Resistencia a flexión en el eje Y (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.5 - 6.3.2)

Se debe satisfacer:

$\eta = M_{Ed}/M_{c,Rd} \leq 1$ η : ***0.925*** ✓

Flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones PP+PESO_PLACA+1.5·V_MAX_2.

Flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

M_{Ed}: es el momento flector solicitante de cálculo. **M_{Ed}^+** : *0.939* t·m

M_{Ed}^- : *1.206* t·m

$M_{c,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión uniaxial. **$M_{c,Rd}$** : *1.305* t·m

Clase: la clasificación de la sección transversal depende de las dimensiones de sus elementos comprimidos, dado el momento flector, para la combinación de acciones considerada. **Clase** : *1*

$M_{c,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión uniaxial.

$M_{c,Rd} = \alpha \cdot W_{el} \cdot f_o/\gamma_{M1}$ **$M_{c,Rd}$** : *1.305* t·m

Donde:

α: es el factor de forma. α : *1.500*

W_{el}: es el módulo elástico de la sección bruta. **W_{el}** : *85.33* cm³

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

α: es el factor de forma.

$\alpha = W_{pl}/W_{el}$ **α** : *1.500*

Donde:

W_{pl}: es el módulo plástico de la sección bruta. **W_{pl}** : *128.00* cm³

W_{el}: es el módulo elástico de la sección bruta. **W_{el}** : *85.33* cm³

Resistencia a flexión en el eje Z (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.5 - 6.3.2)

La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.

Resistencia a cortante en el eje Y (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.6 - 6.5.5)

La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.

Resistencia a cortante en el eje Z (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.6 - 6.5.5)

Se debe satisfacer:

$\eta = V_{Ed}/V_{Rd} \leq 1$ **η** : ***0.064*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

V_{Ed}: es el esfuerzo cortante solicitante de cálculo. **V_{Ed}** : *1.930* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante de la sección transversal. **V_{Rd}** : *30.133* t

La obtención de la resistencia de cálculo a cortante de la sección transversal se realiza suponiendo una distribución de tensiones tangenciales uniforme sobre cada elemento plano de pared delgada que la compone, de tal forma que no se sobrepasa en ninguno de ellos la tensión de plastificación y se equilibra el esfuerzo cortante solicitante de cálculo. En su cálculo se considera tanto el pandeo local por cortante como la presencia de zonas HAZ.

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante de la sección transversal.

$$V_{Rd} = A_v \cdot \frac{f_o}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$ **V_{Rd}** : *30.133* t

Donde:

A_v: es el área de cortante. **A_v** : *51.20* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

A_v: es el área de cortante.

$A_v = 0.8 \cdot h \cdot b$ **A_v** : *51.20* cm²

Donde:

h: es el canto de la barra rectangular maciza. **h** : *80.00* mm

b: es el ancho de la barra rectangular maciza. **b** : *80.00* mm

Resistencia a torsión (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.7.1)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a flexión en el eje Y y a cortante en el eje Z combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.8)

La comprobación no procede por coincidir con la de elementos a flexión, positiva o negativa dependiendo del signo del momento flector de cálculo, en el eje 'y', puesto que el efecto del esfuerzo cortante en el eje 'z' es despreciable para el cálculo del momento flector resistente.

No es necesario considerar el efecto del cortante en la dirección del eje 'z' para el cálculo de la resistencia a flexión, ya que se satisface la siguiente desigualdad:

$V_{Ed} / V_{Rd} \leq 0.5$ **0.06** ≤ **0.50** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

V_{Ed}: es el cortante solicitante de cálculo. **V_{Ed}** : *1.919* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. **V_{Rd}** : *30.133* t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. Su valor coincide con el obtenido en la comprobación de elementos a cortante en el eje 'z'. **V_{Rd}** : *30.133* t

Resistencia a flexión en el eje Z y a cortante en el eje Y combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión y cortante en el eje Y combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.7.3)

No hay interacción entre torsión y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a torsión y cortante en el eje Z combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.7.3)

No hay interacción entre torsión y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Resistencia a axil y flexión biaxial combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.9 - 6.3.3)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2 + \left[\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}}\right)^{1.7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}}\right)^{1.7}\right]^{0.6} \leq 1$$

η : ***0.923*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

N_{Ed}: es el axil de tracción solicitante de cálculo.	N_{Ed} :	*0.342*	t
$M_{y,Ed}$: es el momento flector solicitante de cálculo alrededor del eje principal de inercia 'y'.	$M_{y,Ed}$:	*1.206*	t·m
$M_{z,Ed}$: es el momento flector solicitante de cálculo alrededor del eje principal de inercia 'z'.	$M_{z,Ed}$:	*0.000*	t·m
N_{Rd}: es la resistencia de cálculo a tracción.	N_{Rd} :	*65.240*	t
$M_{y,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'.	$M_{y,Rd}$:	*1.305*	t·m
$M_{z,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'.	$M_{z,Rd}$:	*1.305*	t·m

N_{Rd}: es la resistencia de cálculo a tracción.

$$N_{Rd} = A_g \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

N_{Rd} : *65.240* t

Donde:

A_g: es el área de la sección bruta o el área de la sección transversal reducida que tiene en cuenta el reblandecimiento HAZ debido a soldaduras longitudinales. **A_g** : *64.00* cm²

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

$M_{y,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'.

$$M_{y,Rd} = \alpha_y \cdot W_{y,el} \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

$M_{y,Rd}$: *1.305* t·m

Donde:

α_y: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **α_y** : *1.500*

$W_{y,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **$W_{y,el}$** : *85.33* cm³

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.10*

α_y: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'.

$$\alpha_y = W_{y,pl} / W_{y,el}$$

α_y : *1.500*

Donde:

$W_{y,pl}$: es el módulo plástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **$W_{y,pl}$** : *128.00* cm³

$W_{y,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'y'. **$W_{y,el}$** : *85.33* cm³

$M_{z,Rd}$: es la resistencia de cálculo a flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'.

$$M_{z,Rd} = \alpha_z \cdot W_{z,el} \cdot f_o / \gamma_{M1}$$

$M_{z,Rd}$: *1.305* t·m

Donde:

α_z: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. **α_z** : *1.500*

$W_{z,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. **$W_{z,el}$** : *85.33* cm³

f_o: es el límite elástico para el 0,2% de deformación. **f_o** : *1121.30* kp/cm²

γ_{M1}: es el coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : 1.10

α_z: es el factor de forma para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'.

$\alpha_z = W_{z,pl}/W_{z,el}$ α_z : 1.500

Donde:

$W_{z,pl}$: es el módulo plástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. $W_{z,pl}$: 128.00 cm³

$W_{z,el}$: es el módulo elástico de la sección bruta para flexión alrededor del eje principal de inercia 'z'. $W_{z,el}$: 85.33 cm³

Resistencia a torsión, cortante, axil y flexión biaxial combinados (Eurocódigo 9 EN 1999-1-1: 2007, artículos 6.2.9 - 6.2.10 - 6.3.3)

La comprobación no procede, por coincidir con la de elementos a flexión biaxial y esfuerzo axil, puesto que el efecto del cortante es despreciable en el cálculo del axil y de los momentos flectores resistentes.

Se considera despreciable el efecto del cortante en el cálculo del axil y de los momentos flectores resistentes, ya que se satisface la siguiente desigualdad:

$V_{Ed}/V_{Rd} \leq 0.5$ **0.06** ≤ **0.50** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.35·PESO_PLACA+1.5·V_MAX+0.75·N_MAX.

Donde:

V_{Ed}: es el cortante solicitante de cálculo. V_{Ed} : 1.919 t

V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. V_{Rd} : 30.133 t

V_{Ed}: es el cortante solicitante de cálculo.

$V_{Ed} = \sqrt{V_{z,Ed}^2 + V_{y,Ed}^2}$ V_{Ed} : 1.919 t

Donde:

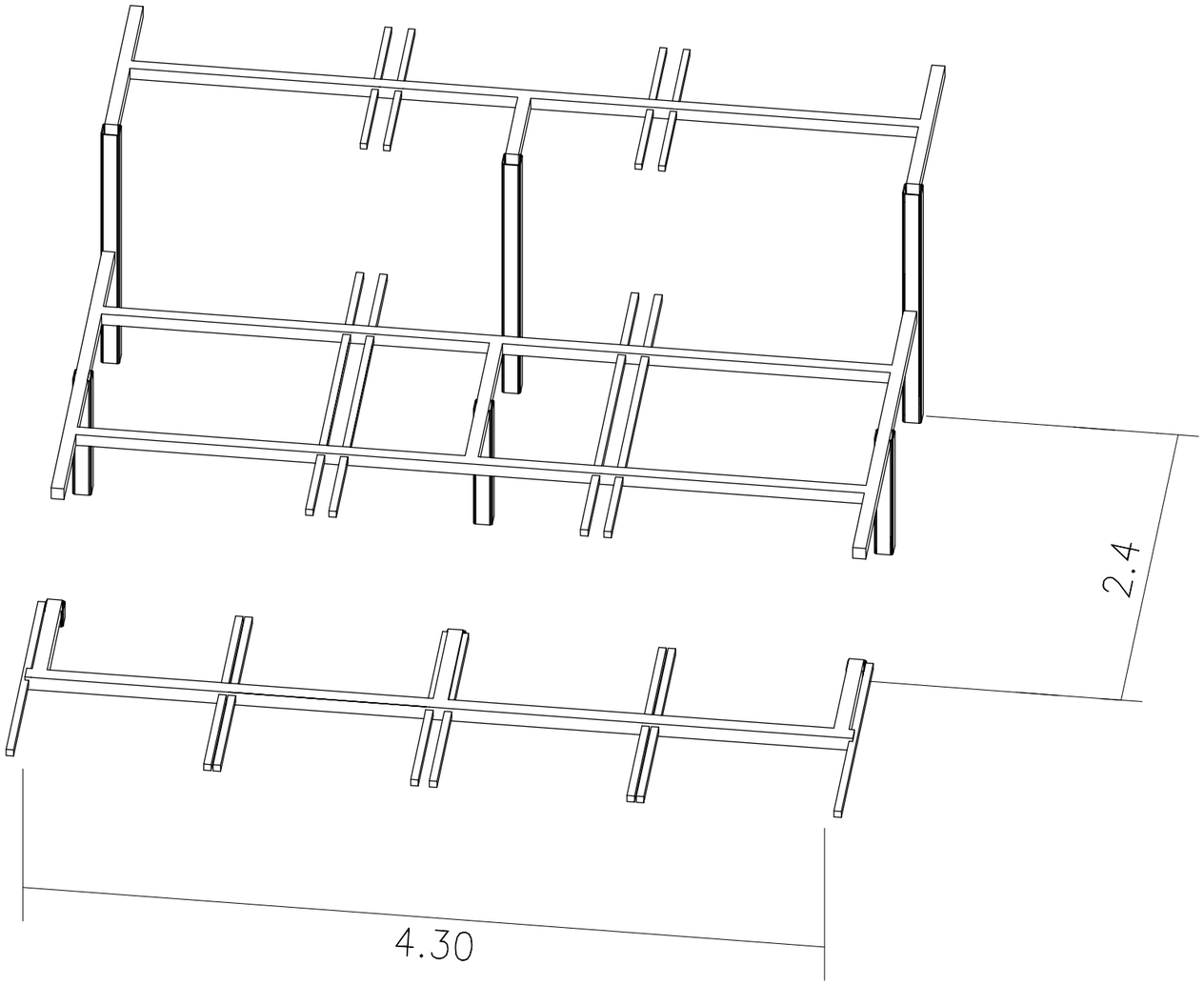
$V_{z,Ed}$: es el cortante solicitante de cálculo en el eje 'z'. $V_{z,Ed}$: 1.919 t

$V_{y,Ed}$: es el cortante solicitante de cálculo en el eje 'y'. $V_{y,Ed}$: 0.000 t

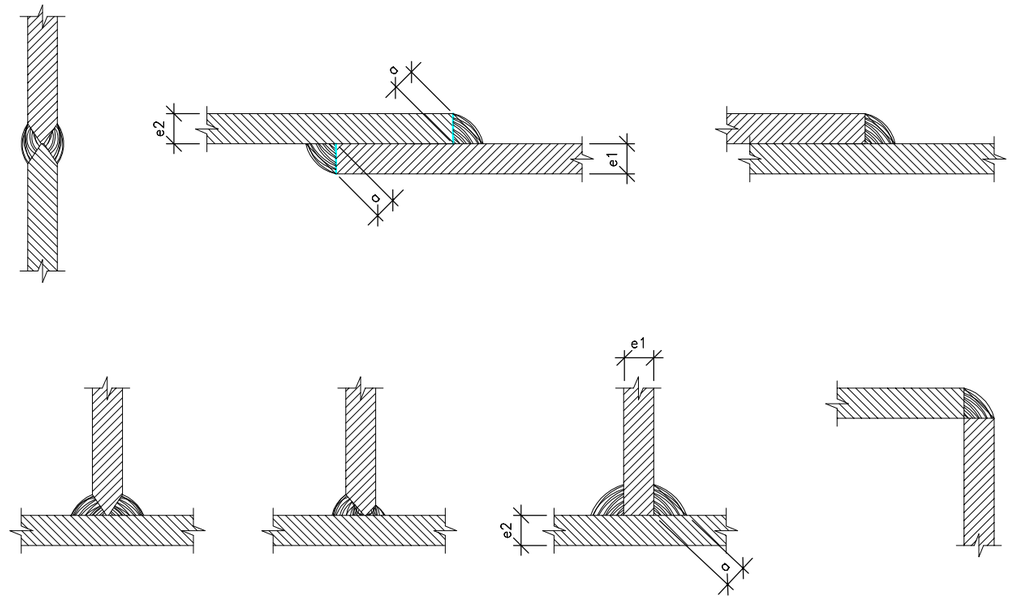
V_{Rd}: es la resistencia de cálculo a cortante. su valor coincide con el obtenido para la comprobación de elementos a cortante en el eje 'z' y de elementos a cortante en el eje 'y' para la variable V_{Rd}.

V_{Rd} : *30.133* t

11.8.ANEXO H. PLANOS



Alternativas de soldaduras

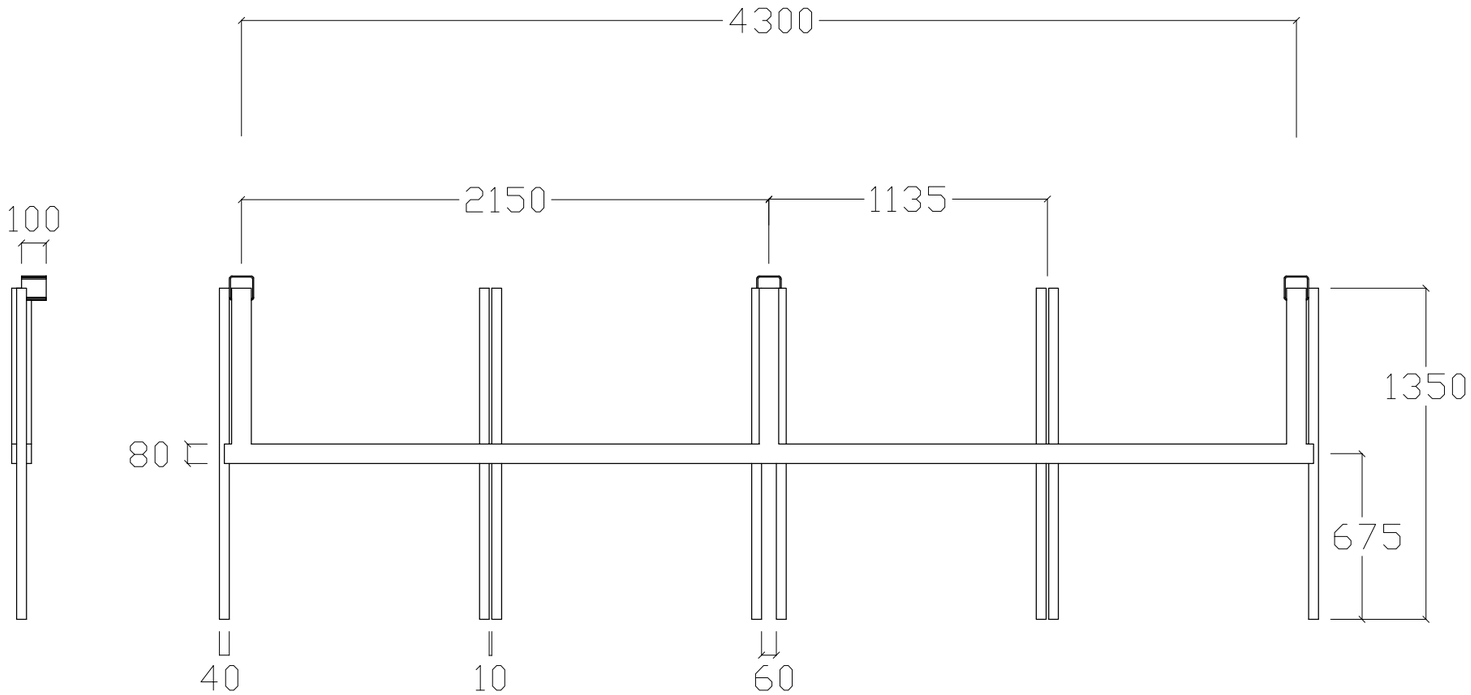


Los cordones de soldadura serán continuos y de penetración completa

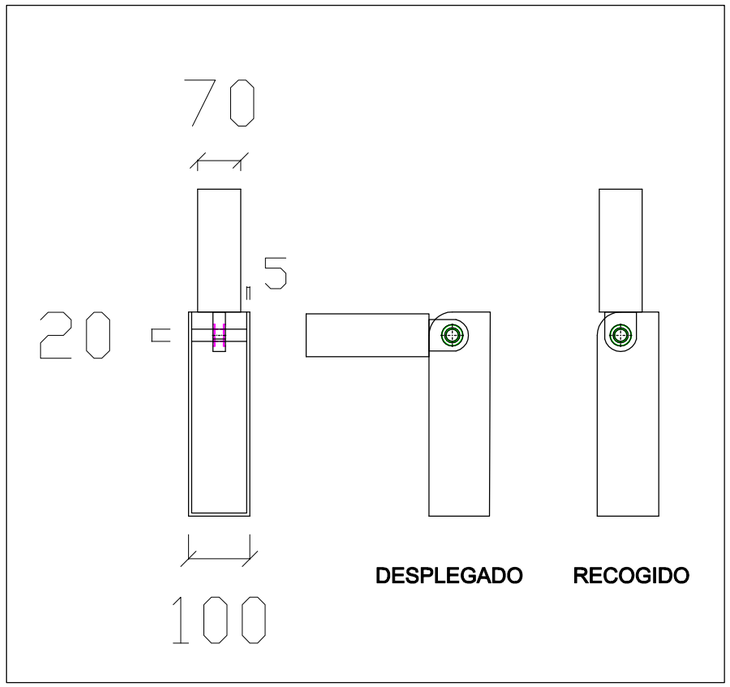
e1 > e2 : a ≥ 1/2 e1
e2 > e1 : a ≥ 1/2 e2

Norma de acero conformado: CTE DB SE-A
Norma de aluminio extruido: Eurocódigo 9
Acero conformado: S235
Aluminio: EN AW-5083

FORMATO: A3	NOMBRE DEL PROYECTO: LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS PUESTOS DE MANDO MÓVILES COMO FUENTE ALTERNATIVA DE SUMINISTRO	NOMBRE DEL CENTRO: ACADEMIA GENERAL MILITAR	PROMOTORA: CUD	GRUPO: 5º EMIEO ING	DESIGNACIÓN: VISTA 3D ESTRUCTURA DESPLIEGUE HORIZONTAL	PLANO: 1
ESCALA:		ALUMNO: CAC. JOAQUÍN ABAD GÓMEZ	TUTOR: DR. DAVID IZQUIERDO NÚÑEZ	FIRMA:		FECHA: 15MAR19



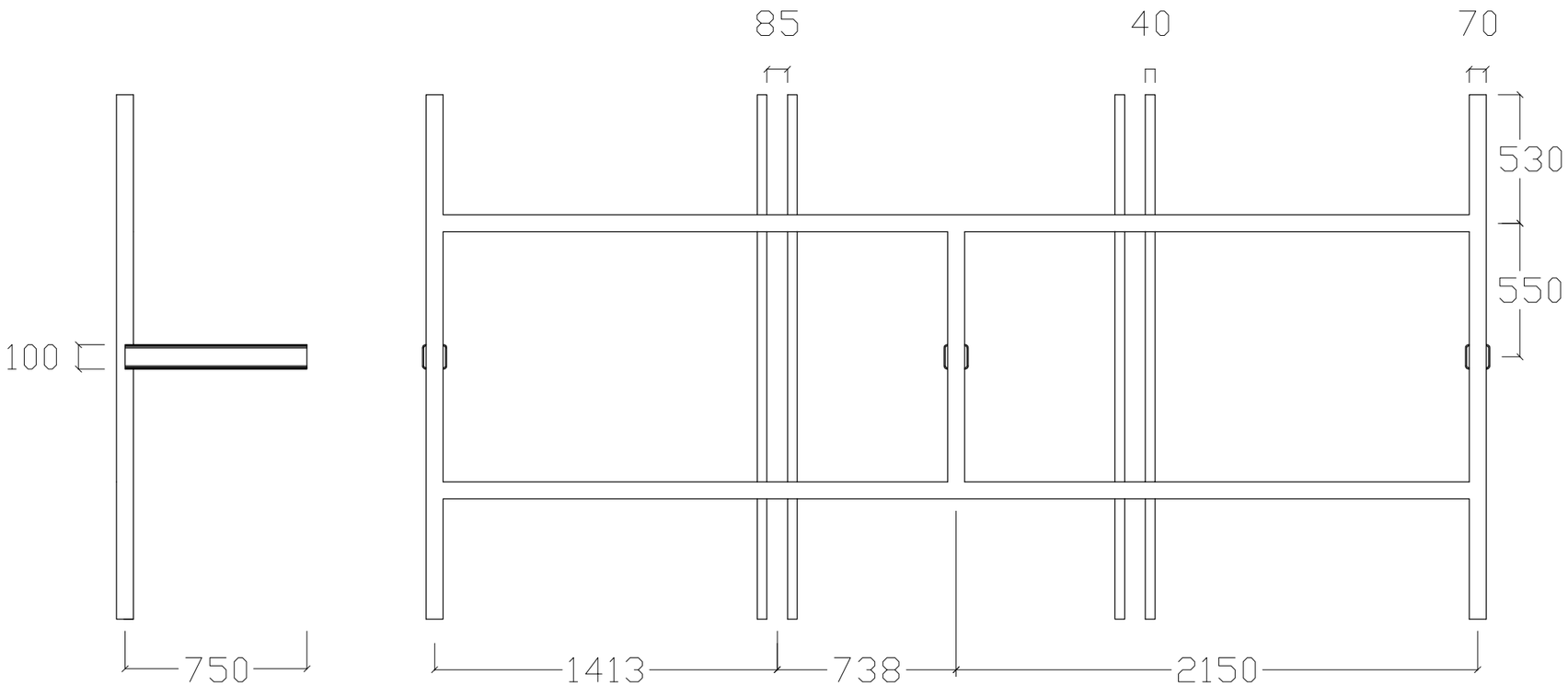
DETALLE UNIÓN GIRATORIA



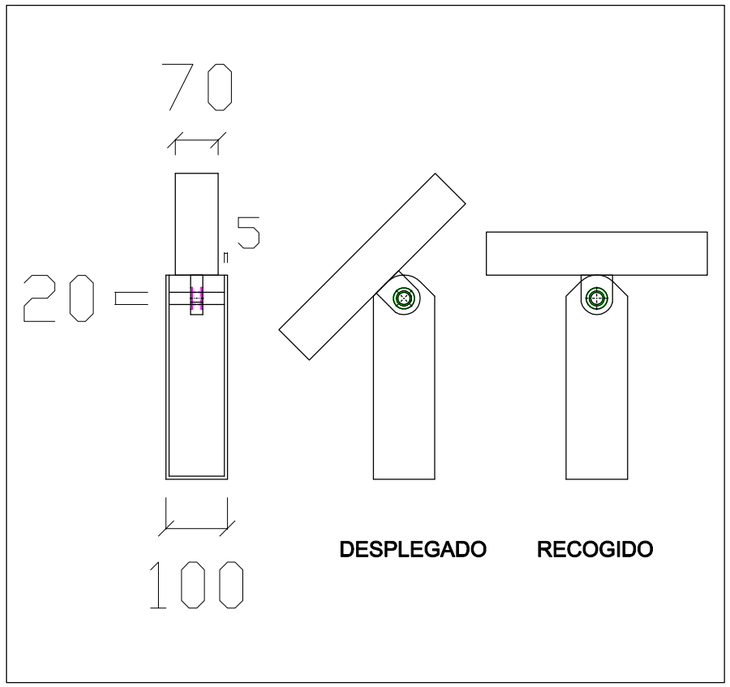
Escala 1:10

Norma de acero conformado: CTE DB SE-A
Norma de aluminio extruido: Eurocódigo 9
Acero conformado: S235
Aluminio: EN AW-5083

	FORMATO: A3	NOMBRE DEL PROYECTO: LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS PUESTOS DE MANDO MÓVILES COMO FUENTE ALTERNATIVA DE SUMINISTRO	NOMBRE DEL CENTRO: ACADEMIA GENERAL MILITAR	PROMOTORA: CUD	GRUPO: 5º EMIEO ING	DESIGNACIÓN: VISTA 3D ESTRUCTURA DESPLIEGUE HORIZONTAL	PLANO: 2
	ESCALA: 1:25		ALUMNO: CAC. JOAQUÍN ABAD GÓMEZ	TUTOR: DR. DAVID IZQUIERDO NÚÑEZ	FIRMA:		FECHA: 15MAR19



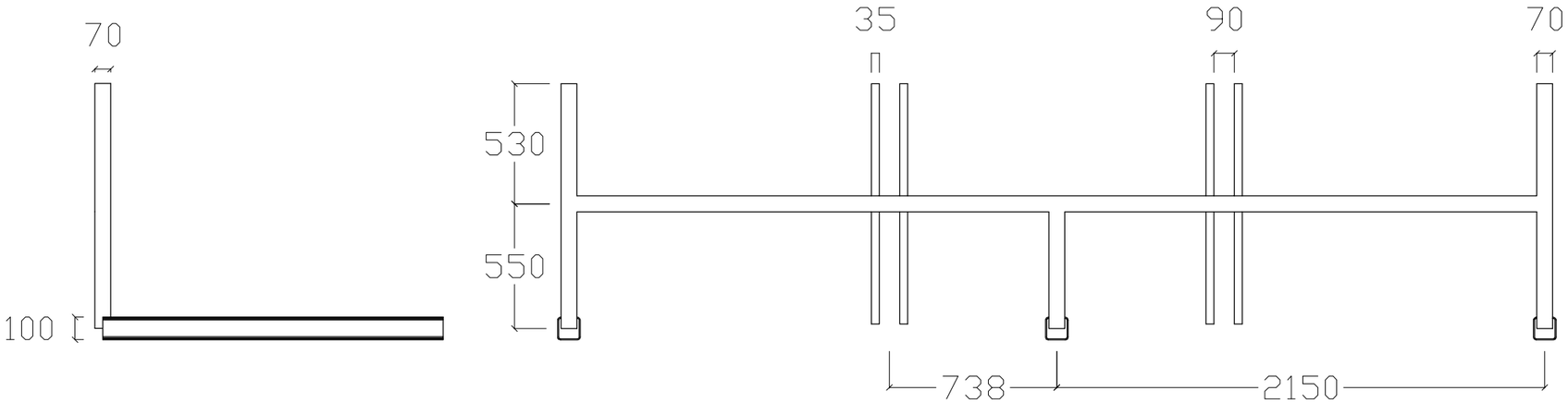
DETALLE UNIÓN GIRATORIA



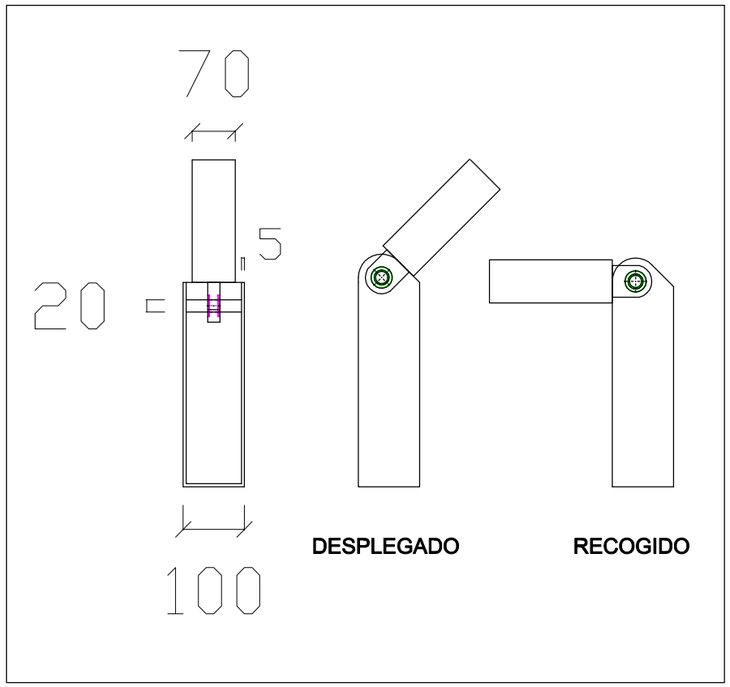
Escala 1:10

Norma de acero conformado: CTE DB SE-A
Norma de aluminio extruido: Eurocódigo 9
Acero conformado: S235
Aluminio: EN AW-5083

FORMATO: A3	NOMBRE DEL PROYECTO: LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS PUESTOS DE MANDO MÓVILES COMO FUENTE ALTERNATIVA DE SUMINISTRO	NOMBRE DEL CENTRO: ACADEMIA GENERAL MILITAR	PROMOTORA: CUD	GRUPO: 5º EMIEO ING	DESIGNACIÓN: VISTA 3D ESTRUCTURA DESPLIEGUE HORIZONTAL	PLANO: 3
ESCALA: 1:25		ALUMNO: CAC. JOAQUÍN ABAD GÓMEZ	TUTOR: DR. DAVID IZQUIERDO NÚÑEZ	FIRMA:		FECHA: 15MAR19



DETALLE UNIÓN GIRATORIA



Escala 1:10

Norma de acero conformado: CTE DB SE-A
Norma de aluminio extruido: Eurocódigo 9
Acero conformado: S235
Aluminio: EN AW-5083

FORMATO: A3	NOMBRE DEL PROYECTO: LA UTILIZACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN LOS PUESTOS DE MANDO MÓVILES COMO FUENTE ALTERNATIVA DE SUMINISTRO	NOMBRE DEL CENTRO: ACADEMIA GENERAL MILITAR	PROMOTORA: CUD	GRUPO: 5º EMIEO ING	DESIGNACIÓN: VISTA 3D ESTRUCTURA DESPLIEGUE HORIZONTAL	PLANO: 4
ESCALA: 1:25		ALUMNO: CAC. JOAQUÍN ABAD GÓMEZ	TUTOR: DR. DAVID IZQUIERDO NÚÑEZ	FIRMA:		FECHA: 15MAR19